



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Institut d'Investigació Tèxtil
i Cooperació Industrial de Terrassa



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

TÈCNIQUES ELECTROQUÍMIQUES I DE MEMBRANES APLICADES AL TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS DE TINTURA PER A LA SEVA REUTILITZACIÓ

-

GRAU EN ENGINYERIA DE TECNOLOGIA I DISSENY TÈXTIL

Alumne: Nil Moreras Martí

Directores: Dra. Carmen Gutiérrez Bouzán,

Dra. Valentina Buscio Olivera

2017/2018

AGRAÏMENTS

En primer lloc voldria agrair a les meves tutores, la Dra. Carmen Gutiérrez i la Dra. Valentina Buscio, la gran implicació i dedicació que han tingut en aquest projecte. Sense la seva constant ajuda i el seu suport des del principi hagués estat impossible poder dur-lo a terme.

En segon lloc voldria agrair al Sr. Ròmul Prat i a Vincolor S.A. l'oportunitat que m'han donat de poder treballar i investigar en l'àmbit de les tintures tèxtils i tractaments d'aigües, així com la implicació que també hi han tingut durant aquests mesos. Gràcies al Pere i l'Albert per ajudar-me a tenir els efluents sempre a punt i a la M. José i a la Ana M. per facilitar-me tota la informació que he necessitat.

També vull donar les gràcies a la Sra. Montserrat Raspall per ensenyar-me tantes coses i brindar-me el seu suport diari. A la Dra. Mercè Vilaseca per l'interès mostrat des de l'inici i la seva ajuda al llarg de tot el projecte. A tothom del Laboratori de Control de Contaminació d'Aigües de l'INTEXTER agraeixo la seva col·laboració.

Al Dr. Josep Maria Canal gràcies per la confiança que ha dipositat en mi i posar-me en contacte amb el Sr. Ròmul Prat. Al professor Dr. Manel Lis per la seva bona disposició al llarg de tants anys i a l'inici del projecte.

Per últim, agrair a la meua família el seu suport, esforç i comprensió durant tots aquests anys de carrera i especialment en aquests últims mesos durant la realització del projecte. Sense ells res d'això hagués estat possible. Gràcies per tants anys de motivació.

RESUM

Aquest projecte se centra en el tractament d'efluents de tintures tèxtils de l'empresa Vincolor S.A. per tal de reutilitzar-los en nous processos de tintura i reproduir una tricromia d'aquesta mateixa empresa amb l'efluent tractat satisfactòriament.

En primer lloc es van fer tractaments electroquímics dels efluents generats en el procés de tintura amb colorants directes obtenint decoloracions superiors al 60%. Els efluents tractats es van reutilitzar en nous processos de tintura tant en monocromies com en tricromies. L'estudi de reutilització es va portar a terme amb el 50% i el 100% de l'efluent tractat. Les diferències de color respecte de les tintures de referència realitzades amb el 100% d'aigua descalcificada van presentar valors inferiors a 1 (criteri d'acceptació establert per l'empresa), tant en les tintures individuals com en les tricromies. A més, la reutilització dels efluents tractats permet reutilitzar la sal present en el efluents. En aquest estudi s'ha aconseguit reutilitzar fins al 57.6% de sal.

Posteriorment, es va tractar un efluent amb colorants directes i dispersos mitjançant processos electroquímics. En aquest cas també es van aconseguir valors de decoloració superiors al 60%, però la reutilització de l'efluent, tant en monocromies com en tricromies, va presentar diferències de colors superiors a 1, límit establert per l'empresa.

Per altra banda, s'ha estudiat la viabilitat de les membranes d'ultrafiltració per al tractament d'un efluent que contia colorants directes i colorants dispersos. Amb això es va obtenir una decoloració del 97.23%.

Finalment, s'ha estudiat la viabilitat econòmica d'aplicar els mètodes electroquímics en el tractament i reutilització dels efluents de tintura procedents de l'empresa.

RESUMEN

Este proyecto se centra en el tratamiento de efluentes de tinturas textiles de la empresa Vincolor S.A. para poder reutilizarlos en nuevos procesos de tintura y reproducir una tricromía de esta misma empresa con el efluente tratado satisfactoriamente.

En primer lugar se realizaron tratamientos electroquímicos de los efluentes generados en el proceso de tintura con colorantes directos, obteniendo decoloraciones superiores al 60%. Los efluentes tratados se reutilizaron en nuevos procesos de tintura, tanto en monocromías como en tricromías. El estudio de reutilización se ha realizado con el 50% y el 100% del efluente tratado. Las diferencias de color respecto a las tinturas de referencia realizadas con el 100% de agua descalcificada presentaron valores inferiores a 1 (criterio de aceptación establecido por la empresa) tanto en las tinturas individuales como en las tricromías. Además, la reutilización de los efluentes tratados permite reutilizar la sal presente en ellos. En este estudio se ha llegado a reutilizar hasta el 57.6% de sal.

Posteriormente, se trató un efluente con colorantes directos y dispersos mediante procesos electroquímicos. En este caso también se consiguieron valores de decoloración superiores al

60%, pero la reutilización del efluente tanto en monocromías como en tricromías, presentó diferencias de color superiores a 1, límite establecido por la empresa.

Por otro lado, se estudió la viabilidad de las membranas de ultrafiltración para el tratamiento de un efluente que contenía colorantes directos y colorantes dispersos. Con este tratamiento se obtuvo una decoloración del 97,23%.

Finalmente, se ha estudiado la viabilidad económica de aplicar los métodos electroquímicos en el tratamiento y la reutilización de los efluentes de tintura procedentes de la empresa.

ABSTRACT

This project focuses in the treatment of textile wastewaters from the textile dyeing factory Vincolor S.A with the aim to reuse them in new dyeing processes to reproduce the factory colors satisfactory.

Firstly, the electrochemical treatments of the wastewaters with direct dyes had decoloration values up to 60%. The treated wastewaters, were reused in new dyeing processes (monocromy and thricromy). The reuse was made with the 50% and the 100% of the treated wastewater. The color differences between the reference dyeing made with the factory clean water were less than 1 (acceptation criteria stablished by the dyeing mill). Furthermore, the reuse of the treated wastewaters allows to reuse the wastewaters salt. In this project a 57,6% of salt reuse was achieved.

Lately, wastewaters with both direct dyes and disperse dyes were by electrochemical processes. Decoloration values up to 60% were also achieved with this kind of wastewaters but the dyes made with this treated wastewaters had a color difference value always bigger than 1.

Finally, it has been studied the economic viability of applying the electrochemical methods in the treatment and reuse of dyeing wastewaters from Vincolor S.A.

Índex

1.	INTRODUCCIÓ.....	1
1.1	Problemàtica actual.....	1
1.2	Processos electroquímics i de membranes	4
1.2.1	Processos electroquímics	4
1.2.2	Processos de membranes.....	6
1.3	Colorants	12
1.3.1	Definició i tipus de colorants.....	12
1.3.2	Colorants directes	13
1.4	Antecedents de tractament i reutilització d'efluents	14
2.	OBJECTIUS	16
3.	MATERIALS I MÈTODES	17
3.1	Colorants directes utilitzats.....	17
3.2	Reactius utilitzats	18
3.3	Mètodes analítics	19
3.3.1	pH-metre	19
3.3.2	Conductímetre	19
3.3.3	TOC.....	20
3.3.4	Determinació de la degradació de color	21
3.3.5	Determinació clorurs.....	21
3.3.6	Clor lliure i total.....	23
3.3.7	Anàlisi DQO	24
3.3.8	Determinació diferència de color.....	24
3.4	Reactor electroquímic.....	26
3.4.1	Cel·la	27
3.4.2	Elèctrodes.....	27
3.4.3	Font d'alimentació	27
3.5	Caracterització membrana.....	28
3.6	Procés de tintura	29
3.7	Caracterització aigües	32
3.7.1	Efluent 1 (E1): COLORANTS DIRECTES.....	32
3.7.2	Efluent 2 (E2): COLORANTS DIRECTES.....	33
3.7.3	Efluent 3 (E3): COLORANTS DIRECTES + COLORANTS DISPERSOS	33
3.7.4	Efluent 4 (E4): COLORANTS DIRECTES + COLORANTS DISPERSOS	34

3.7.5	Efluent 5 (E5): COLORANTS DISPERSOS	34
4.	RESULTATS ASSAJOS AMB COLORANTS DIRECTES.....	35
4.1	Efluent 1 (E1)	35
4.1.1	Caracterització efluent 1	35
4.1.2	Tractaments realitzats amb l'efluent 1 (E1): variació intensitats (5A i 10A).....	36
4.2	Efluent 2 (E2)	41
4.2.1	Caracterització efluent 2	41
4.2.2	Tractaments realitzats amb l'efluent 2 (E2): variació intensitats (2A, 5A i 10A). Influència del temps d'assaig	41
4.3	Comparació entre E1 i E2	48
4.3.1	Reutilització del 50% de l'efluent tractat	49
4.3.2	Reutilització del 100% de l'efluent tractat.....	49
5.	RESULTATS COLORANTS DIRECTES + COLORANTS DISPERSOS	50
5.1	Efluent 3 (E3): tractament electroquímic.....	50
5.1.1	Caracterització de l'efluent 3	50
5.1.2	Tractaments realitzats amb l'efluent 3 (E3): variació de temps	51
5.2	Efluent 4 (E4): tractament de membranes.....	55
5.2.1	Caracterització de l'efluent 4 (E4)	55
5.2.2	Tractament realitzat amb l'efluent 4 (E4): membrana d'ultrafiltració	56
5.3	Comparació entre E3 i E4	57
6.	ANÀLISI ECONÒMICA	58
6.3	Càlcul estalvi (per 1000 metres de teixit).....	59
6.4	Càlcul tenint en compte % producció tintures amb colorants directes.....	59
6.4.1	Càlcul amb les dades del 2017	59
6.4.2	Càlcul amb les dades del futur	60
6.3	Reactor electroquímic necessari	61
7.	CONCLUSIONS	62
8.	FUTURS ESTUDIS	63
9.	REFERÈNCIES	64
10.	ANNEX: TRACTAMENTS PRELIMINARS.....	66

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: Mètodes per a l'eliminació de color en aigües residuals (Font: Buscio, V. 2015, Sala, M. 2012)	3
Figura 2: Mètodes electroquímics (Font: Gutiérrez, C. et al. 2012).....	4
Figura 3: Esquema interior membrana	6
Figura 4: Membrana mòdul pla.....	7
Figura 5: Membrana mòdul enrotllament en espiral.....	8
Figura 6: Membrana mòdul tubular.....	8
Figura 7: Membrana mòdul fibra buida	9
Figura 8: Espectre de filtració.....	10
Figura 9: Embrutiment de la membrana.....	11
Figura 10: Planta semi-industrial.....	14
Figura 11: Planta laboratori.....	14
Figura 12: % Degradació diferents paràmetres.....	15
Figura 16: BLAU INDOSOL SF-GL	17
Figura 17: Estructura química TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	17
Figura 18: pH-metre Crison.....	19
Figura 19: Conductímetre Crison	20
Figura 20: Analitzador de carboni orgànic total (TOC).....	20
Figura 21: Espectrofotòmetre UV	21
Figura 22: Cromatògraf iònic.....	22
Figura 23: Valoració manual clorurs.....	22
Figura 24: Determinació quantitat clor lliure i total de la mostra	23
Figura 25: Etapes valoració DQO.....	24
Figura 26: Escalfament mostres per realitzar la valoració de la DQO.....	24
Figura 27: Espectrofotòmetre	26
Figura 28: Cel·la electroquímica.....	26
Figura 29: Font d'alimentació.....	27
Figura 30: Planta amb membrana d'ultrafiltració (INTEXTER)	28
Figura 31: Esquema de funcionament de la planta de filtració	29
Figura 32: Màquina de tintura Ti-Color.....	29
Figura 33: Diagrama de tintura	30
Figura 34: Rentat Alkimia	30

Figura 35: Procés de tintura complet.....	31
Figura 36: Passos procés de tintura	32
Figura 37: Efluent 1	35
Figura 38: Degradació de color (%) dels tractaments amb l'efluent E1.....	36
Figura 39: Reutilitzacions respecte les referències T4	38
Figura 40: Reutilitzacions respecte les referències T 5	39
Figura 41: <i>DECMC</i> (2: 1)T4 i T5 respecte les referències.....	40
Figura 42: Efluent 2	41
Figura 43: Degradació de color (%) dels tractaments amb l'efluent E2.....	43
Figura 44: Tintures respecte referències T6.....	45
Figura 45:Tintures respecte referències T7	46
Figura 46: Tintures respecte referències T8.....	47
Figura 47: <i>DECMC</i> (2: 1)T6, T7 i T8 respecte les referències	48
Figura 48: Degradació de color (%) tractaments dels efluent E1 i E2	48
Figura 49: $[(DE)]_{(CMC(2:1))}$ E1 i E2 respecte les referències (50% reutilització).....	49
Figura 50 $[(DE)]_{(CMC(2:1))}$ E1 i E2 respecte les referències (100% reutilització).....	49
Figura 51: Efluent 3	50
Figura 52: Degradació de color (%) dels tractaments amb l'efluent E3.....	52
Figura 53: $[(DE)]_{(CMC(2:1))}$ T1, T2 i T3 respecte les referències	54
Figura 54: Efluent 4	55
Figura 55: Efluent inicial vs Efluent passat per membrana UF.....	56
Figura 56: Degradació de color (%) tractaments d'E3 i E	57
Figura 57: Tractament electroquímic efluent creat al INTEXTER.....	66
Figura 58: Efluent abans i després del tractament electroquímic	66

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Principals emissions produïdes en els diferents processos tèxtils (Babu, B. et al. 2007)	1
Taula 2: Configuracions membranes (Font: Sinha, Shishir [10])	9
Taula 3: Classificació dels processos de membrana (Font: Buscio, V. 2015)	10
Taula 4: Característiques colorants (Font: Presentació materials colorants Canal Arias, JM. 2016)	12
Taula 5: Colorants directes utilitzats	17
Taula 6: Reactius utilitzats	18
Taula 7: Característiques pH-metre	19
Taula 8: Característiques conductímetre	19
Taula 9: Característiques TOC	20
Taula 10: Característiques Espectrofotòmetre	21
Taula 11: Característiques font alimentació	27
Taula 12: Característiques de la membrana	28
Taula 13: Tipus tintures realitzades	31
Taula 14: Productes auxiliars de rentat	31
Taula 15: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent E1	32
Taula 16: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent E2	33
Taula 17: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent 3	33
Taula 18: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent 4 (E4)	34
Taula 19: Concentracions de colorants en el bany de tintura inicial de l'efluent 5 (E5)	34
Taula 20: Característiques efluent 1 (E1)	35
Taula 21: Degradació de color tractaments E1	36
Taula 22: Degradació de TOC tractaments E1	37
Taula 23: Característiques T4 i T5	37
Taula 24: <i>DECMC</i> (2: 1) Referències vs Tintura T4	38
Taula 25: <i>DECMC</i> (2: 1) Referències vs Tintura T5	39
Taula 26: Característiques E2	41
Taula 27: Assaigs realitzats amb l'efluent 2 (E2)	42
Taula 28: Degradació de color tractaments E2	42
Taula 29: Degradació de TOC tractaments E2	43
Taula 30: Característiques T6, T7 i T8	44
Taula 31: <i>DECMC</i> (2: 1) entre les referències i T6	44

Taula 32: <i>DECMC</i> (2: 1) entre les referències i T7	45
Taula 33: <i>DECMC</i> (2: 1) entre les referències i T8	46
Taula 34: Característiques E3	50
Taula 35: Tractaments E3	51
Taula 36: Degradació de color tractaments E3	51
Taula 37: Característiques T1, T2 i T3	52
Taula 38: $[\text{DE}]_{(\text{CMC}(2:1))}$ T1	53
Taula 39: $[\text{DE}]_{(\text{CMC}(2:1))}$ T2	53
Taula 40: $[\text{DE}]_{(\text{CMC}(2:1))}$ T3	54
Taula 41: Caracterització E4	55
Taula 42: Característiques efluent tractat	56
Taula 43: Informació volum (L)-metres teixits tenyits (m)	58
Taula 44: dades abocaments aigües residuals 2017	58
Taula 45: Estalvi de sal dades 2017	60
Taula 46: Estalvi sal dades futur	60
Taula 47: $[\text{DE}]_{(\text{CMC}(2:1))}$ tintures amb productes auxiliars de rentat	66

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Problemàtica actual

L'aigua és un element bàsic per a la civilització humana, no només per la nostra dependència biològica, sinó també perquè des de fa temps l'aigua ha passat a ser una eina tecnològica més imprescindible per al desenvolupament de la humanitat.

És un recurs que, tot i representar el 70,9% de la superfície terrestre, només un 2,5% és aigua dolça i tan sols un 0,3% és accessible a l'ésser humà.

Des de diverses organitzacions internacionals es proposen mesures per tal de reduir i fer un consum eficient de l'aigua dolça. Així el 2003 va ser proclamat per les Nacions Unides com l'Any Internacional de l'Aigua Dolça, on es van debatre i acordar diversos objectius per tal de reduir les desigualtats hidràuliques del planeta. Cal tenir en compte que actualment es calcula que 748 milions de persones no tenen accés a l'aigua potable i es preveu que aquesta xifra augmenti en els propers anys.

La indústria tèxtil té un paper molt important en el consum mundial d'aigua, ja que l'aigua és necessària en la majoria de processos de producció tèxtil (Taula 1). Per produir un quilogram de producte tèxtil es poden arribar a necessitar entre 230 i 270 litres d'aigua, principalment en els processos d'acabats i tintura [1].

Taula 1: Principals emissions produïdes en els diferents processos tèxtils (Babu, B. et al. 2007)

PROCÉS	EMISSIONS A L'AIRE	AIGÜES RESIDUALS
Preparació de la fibra	Poques o nul·les emissions a l'aire	Poques o nul·les aigües residuals
Filatura	Poques o nul·les emissions a l'aire	Poques o nul·les aigües residuals
Encolat	Compostos orgànics volàtils	DQO, DBO, compostos metàl·lics...
Teixidoria	Poques o nul·les emissions a l'aire	Poques o nul·les aigües residuals
Desencolat	Compostos orgànics volàtils d'èters glicols	DBO de les coles solubles en aigua, lubricants, coles sintètiques solubles
Descruat	Compostos orgànics volàtils d'èters glicols i solvents de descruat	Desinfectants, NaOH, detergents, greixos, olis, pectines, ceres...
Blanquejat	Poques o nul·les emissions a l'aire	Peròxid d'hidrogen, Silicat de sodi, alt pH
Gasejat	Petites quantitats de gasos dels cremadors	Poques o nul·les aigües residuals
Merceritzat	Poques o nul·les emissions a l'aire	Alt pH, NaOH

Tintura	Compostos orgànics volàtils	Metalls, sal, tensioactius, compostos orgànics, color DQO, acidesa/alcalinitat
Estampat	Solvents, àcid acètic, gasos de combustió	Sòlids en suspensió, urea, color, metalls
Acabat	Compostos orgànics volàtils, contaminants químics (vapor de formaldehid, gasos de combustió)	DQO, DBO, sòlids en suspensió

A part del consum directe d'aigua, la indústria tèxtil té associats altres consums indirectes. Per exemple, per a la producció d'un quilogram de cotó es requereixen fins a 10.000L d'aigua. En canvi, un quilogram de blat en requereix 1500L i un quilogram d'arròs 4500L [2,3].

Els processos tèxtils utilitzen un rang de maquinària i productes químics molt gran i per tant les aigües residuals es caracteritzen per una gran variabilitat de cabal i càrrega contaminant. Generalment contenen color i la seva càrrega orgànica mitjana és aproximadament el doble que la d'una aigua residual urbana, a part de ser deficitàries en nutrients, com ara el nitrogen [3,4].

La majoria dels colorants tèxtils no són tòxics però la coloració de les aigües residuals impedeix que la llum solar arribi al fons del medi aquàtic, dificultant la subsistència d'espècies animals i vegetals de la zona. A més, la presència de colorants en rius, fins i tot en concentracions petites, pot provocar una forta coloració que genera un impacte visual desagradable [5].

És per això que és important que les administracions públiques regulin i limitin els abocaments d'aigües residuals en el sistema hídric públic. A Espanya, el Reglament del Domini Públic Hidràulic (Reial decret 849/1986) permet l'abocament d'efluents colorats sempre que no s'aprecii el color amb una dilució 1/20. No obstant això, algunes localitats han establert normatives més restrictives [5].

En els darrers anys s'han estudiat diferents mètodes per a l'eliminació de color de les aigües residuals tèxtils (Figura 1). Actualment es pretén aplicar tractaments que siguin capaços de degradar els colorants, produint d'aquesta manera substàncies intermèdies que siguin menys agressives per al medi ambient. A més, els esforços se centren a aplicar tractaments que no generin cap altre residu contaminant i que siguin econòmicament viables [6,7].

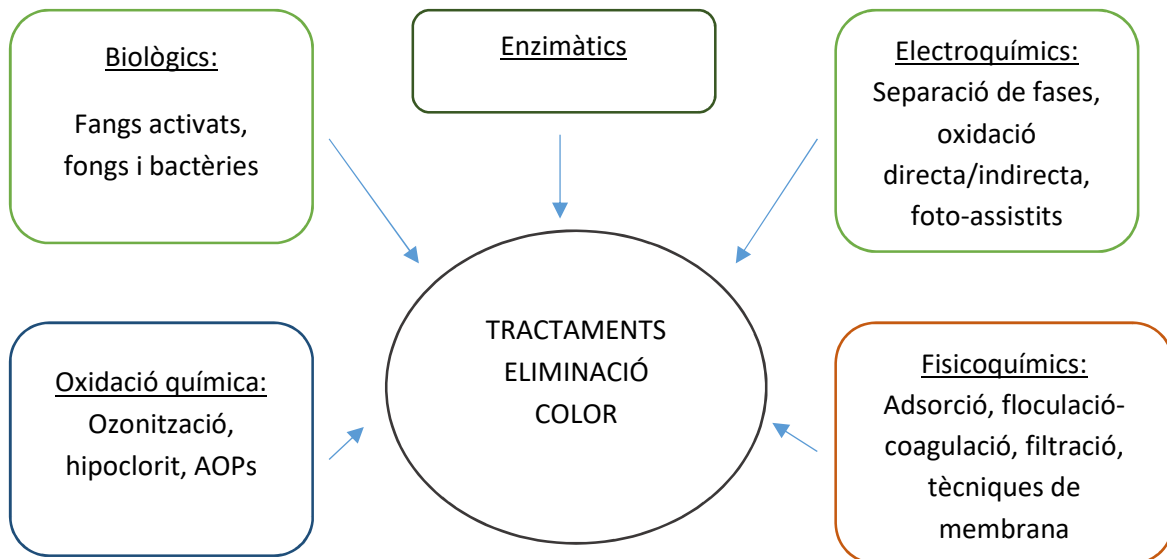


Figura 1: Mètodes per a l'eliminació de color en aigües residuals (Font: Buscio, V. 2015, Sala, M. 2012)

Els **tractaments biològics** són mètodes molt simples i eficaços per a aigües residuals amb compostos biodegradables. Mostren alta eliminació de matèria orgànica però una baixa eficiència en l'eliminació de color a causa de l'estabilitat química i resistència als atacs microbiològics que presenten els colorants [7].

Els **mètodes enzimàtics** encara estan en fase d'investigació. El seu principal inconvenient és que les variables del procés han d'estar molt controlades (temperatura, pH, salinitat, etc.) per tal d'evitar la desnaturalització dels enzims, i degut a la seva alta selectivitat, aquests tractaments només són efectius quan la concentració del colorant és molt elevada en comparació amb la resta de contaminants presents en l'efluent [6,7].

Els **tractaments d'oxidació química** degraden els contaminants però requereixen l'addició de compostos oxidants com l'ozó (O_3), peròxid d'hidrogen (H_2O_2) i permanganat (MnO_4^-). L'ozó és el més utilitzat pel seu alt rendiment en l'eliminació de colorants tot i que no és eficaç en colorants insolubles com els tina o els dispersos [6,7].

Els **mètodes fisicoquímics** es basen en la separació del colorant de l'aigua residual. Els processos de coagulació i floculació són actualment els més utilitzats per l'eliminació de colorants. Els mètodes fisicoquímics, tot i aconseguir una bona decoloració, produeixen un residu (sòlid o líquid on el colorant hi queda concentrat), que posteriorment haurà de ser tractat, encarint el cost del procés. D'altra banda, els materials adsorbents (carbó actiu, sílice gel o alúmina) i les resines d'intercanvi iònic han de ser regenerats després de varis tractaments i la filtració i ús de membranes necessiten tractaments de neteja de la membrana [6].

Els **tractament electroquímics** són senzills i segurs. Permeten treballar a condicions moderades per una gran quantitat de contaminants i a més, l'electró és un reactiu net i d'alta eficiència energètica. El tractament electroquímic és un dels mètodes seleccionats per portar a terme aquest projecte. És per això que s'explica amb més detalls en la següent secció.[6].

1.2 Processos electroquímics i de membranes

1.2.1 Processos electroquímics

En la indústria tèxtil, els processos electroquímics tenen un ampli rang d'utilitats, des de la creació de polímers conductius per a teixits tècnics al blanqueig del cotó gràcies a la generació del peròxid d'hidrogen (electròlisi de l'oxigen en presència d'un electròlit lliure). Una altra aplicació és la degradació de color en els efluents d'aigües residuals de tintures (Figura 2) [8].

A diferència dels tractaments actualment utilitzats per a l'eliminació de color, els processos electroquímics no generen residus ni requereixen de l'addició de cap reactiu químic. A més, diversos estudis han demostrat que l'efluent tractat pot ser reutilitzat en nous processos de tintura [8,9].

Les tècniques electroquímiques presenten diversos avantatges amb relació als tractaments actualment utilitzats per a l'eliminació de color de les aigües residuals: l'electró és un agent net, són tècniques amb una gran versatilitat i fàcils d'automatitzar.

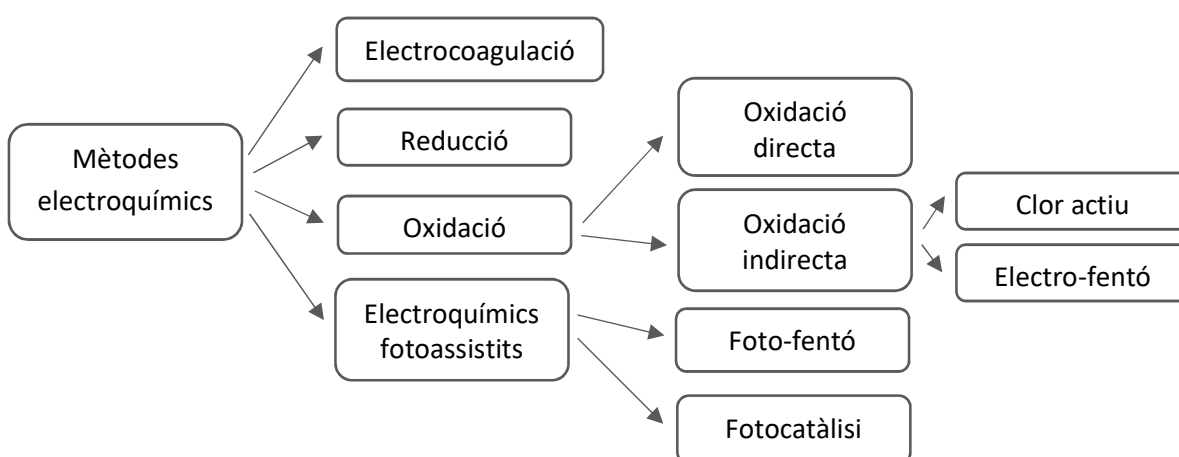


Figura 2: Mètodes electroquímics (Font: Gutiérrez, C. et al. 2012)

a) Mètodes d'electrocoagulació:

L'electrocoagulació proporciona l'agregació electroquímica de metalls pesats, contaminants orgànics i inorgànics per produir un residu coagulat que podrà ésser separat de l'aigua.

L'electrocoagulació es basa en la generació d'ions metàl·lics (Fe^{3+} o Al^{3+}) a partir d'ànodes sacrificables. Aquests ions poden desestabilitzar les càrregues de les partícules contaminants, les quals s'agreguen i s'eliminen mitjançant precipitació. Per tant, a diferència de la coagulació química, el coagulant es forma *in situ* i no es requereix l'addició de cap reactiu químic per portar a terme el tractament. L'inconvenient de l'electrocoagulació en comparació amb altres mètodes electroquímics és la generació de residus, que fa necessari l'ús de tractaments addicionals.

b) Mètodes de reducció electroquímica:

És un mètode poc utilitzat a causa de la seva poca i baixa eficiència en la degradació de contaminants en comparació amb els mètodes d'electrooxidació directes i indirectes.

c) Mètodes fotoassistits:

Es basen en l'exposició de l'efluent a una font de llum ultraviolada (UV) durant el tractament electroquímic. En aquest mètode, la intensitat i longitud d'ona de la llum incident juga un paper important en el grau de mineralització.

El mètode més estudiat és el foto-fentó, que consisteix a utilitzar simultàniament llum UV i peròxid d'hidrogen (H_2O_2) electrogenerat *in situ* en presència de Fe^{2+} [8].

d) Mètodes d'oxidació electroquímica:

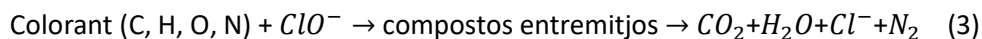
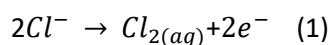
Aquest procés es basa en l'eliminació de contaminants per oxidació directa en l'ànode (la qual generalment produeix una eficiència de degradació baixa) o per reacció química amb espècies electrogenerades (oxidació indirecta). S'ha comprovat que per a l'eliminació de colorants l'eficiència és més alta quan el tractament es fa amb oxidació indirecta [8].

- Mètodes d'oxidació indirecta:

L'oxidació indirecta es basa en la generació *in situ* d'oxidants forts durant l'electròlisi. Aquests oxidants reaccionen amb els contaminants orgànics (com els colorants), produint la seva degradació ja sigui parcial o total.

Principalment s'utilitzen dos mètodes:

1. Electrooxidació amb clor actiu (agent oxidant més potent). La degradació del color es produeix a partir de les sals presents en l'efluent segons les següents reaccions:



2. Procés electró-fentó: la degradació de matèria orgànica es porta a terme a partir dels radicals hidroxil. Aquest tractament necessita de medis àcids per al seu bon funcionament (pH=3). La tintura amb colorants reactius es dona en medi bàsic i per tant abans de realitzar el tractament s'hauria d'ajustar el pH dels efluentes afegint una gran quantitat d'àcid.

Cal destacar que els efluentes generats en el procés de tintura amb colorants directes es caracteritzen generalment per presentar elevada conductivitat. Per tant, el tractament

electroquímic d'oxidació indirecta amb clor és el que s'ha seleccionat per a aquest estudi. Com a principals avantatges cal destacar:

- La degradació té lloc en el mateix bany.
- La addició d'agents químics no és necessària (la sal residual actua com electròlit).
- No és necessària una modificació del pH.
- No genera residus sòlids.
- Possibilitat de reutilització de l'efluent tractat, implicant un estalvi del 70% d'aigua i 60% de sal en alguns casos [8].

1.2.2 Processos de membranes

Una membrana és una barrera física (no necessàriament sòlida) que separa els components d'una barreja [10]. D'aquesta manera, l'efluent a tractar queda dividit en dos corrents: concentrat, on queden retinguts les espècies que no travessen la membrana, i el permeat (Figura 3).

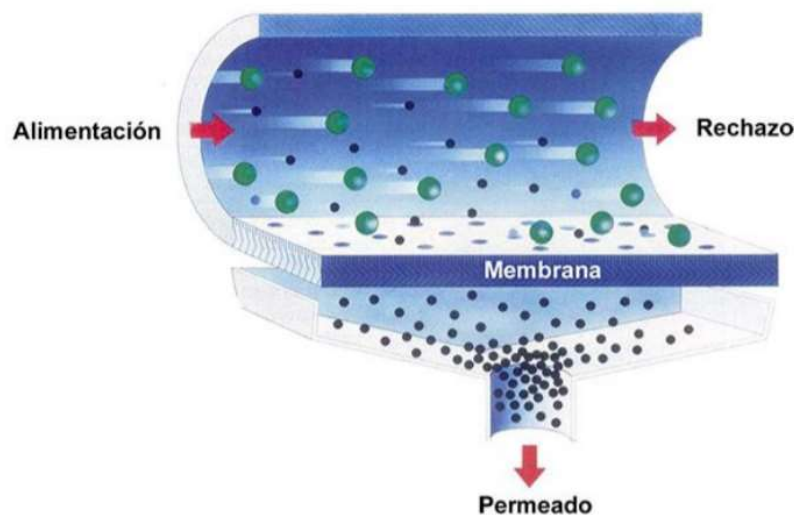


Figura 3: Esquema interior membrana

Els processos de membranes no estan basats en un equilibri termodinàmic, sinó en els diferents ratis de transport de les diferents espècies a través de la membrana [10].

Avantatges:

- Estalvi d'energia: consum d'energia molt baix ja que no es necessita fer un canvi de fase.
- Temperatura del procés baixa: quasi tots els processos de membrana es porten a terme a temperatura ambient.
- Recuperació: tant el rebuig com l'aigua filtrada poden ser recuperats per poder tornar a ser utilitzats.
- Reutilització de l'aigua: evita el transport de grans volums d'aigua i permet la reducció de la Demanda Química d'Oxigen (DQO).

- Operació compacta: necessita poc espai.
- Fàcil escalat: com que està dissenyat en mòduls, es poden connectar entre ells fàcilment.

Inconvenients:

- Cost elevat: tenen costos elevats per a separacions selectives.
- Falta selectivitat: en molts casos, els factors de separació són insuficients
- Fluxos baixos: el flux d'aigua ja filtrada és bastant baix per a la majoria d'aplicacions.
- Sensible a atacs químics: molts materials poden ser danyats per àcids, oxidants i/o solvents orgànics.
- Falta de resistència mecànica: falta resistència a l'abrasió, vibracions, altres temperatures i/o pressions [11].

1.2.2.1 Tipus de membranes i configuració del mòdul

Les membranes estan fetes de diversos materials i poden ser líquides o sòlides, d'origen natural o sintètic. Poden ser de materials inorgànics (ceràmiques) o orgànics (polimèriques). Les membranes polimèriques (acetat de cel·lulosa, poliamida, fluor de polivinil, etc.), per les seves característiques, s'utilitzen per al tractament d'aigües residuals tèxtils [11].

Per al seu funcionament, les membranes s'afegeixen a una unitat que s'anomena mòdul, el qual pot estar disposat de les següents maneres (Taula 2):

- Mòdul pla: configuració més antiga i senzilla. Fulla o làmina semipermeable on l'aigua a tractar incideix sobre una sola cara de la membrana, aconseguint una baixa superfície activa (Figura 4) [7].

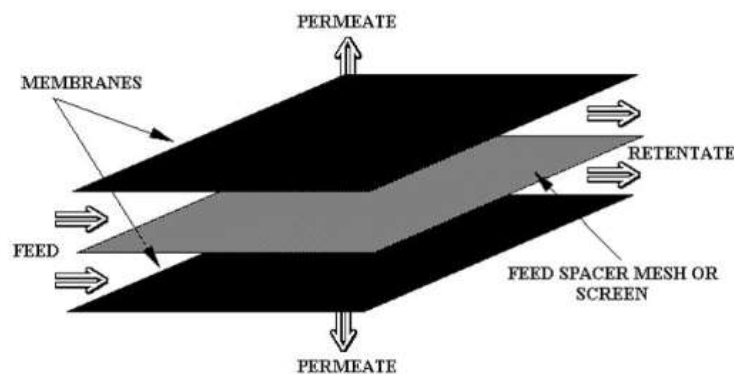


Figura 4: Membrana mòdul pla

- Enrotllament en espiral: diverses làmines de membrana plana s'enrotllen al voltant d'un tub espaiador. Baix cost d'operació (Figura 5) [7].

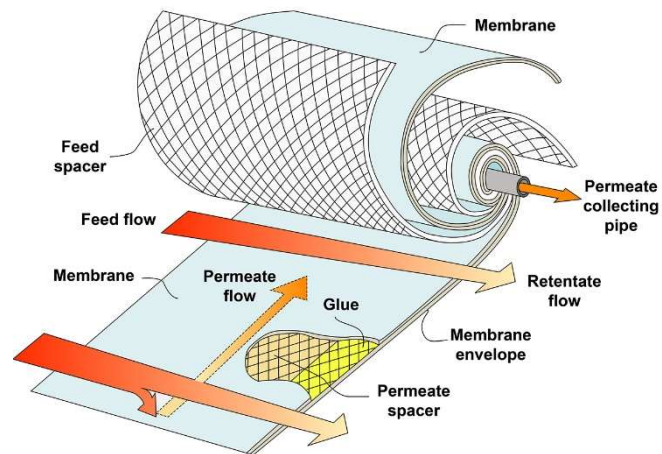


Figura 5: Membrana mòdul enrotllament en espiral

- Mòdul tubular: membrana en forma de tub amb la capa activa situada en la part interior. El permeat es dirigeix radialment des de l'interior a l'exterior, recollint el rebuig en cada extrem del tub central (Figura 6) [7].

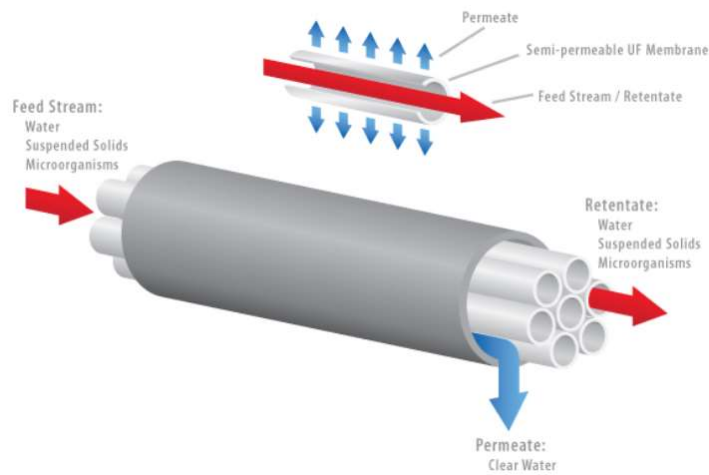


Figura 6: Membrana mòdul tubular

- Fibra buida: la capa activa es troba en l'exterior, per tant el permeat va de l'exterior a l'interior i es recull en l'extrem de la fibra. Ocupa poc espai, presenta més superfície activa i és més resistent (Figura 7) [7].

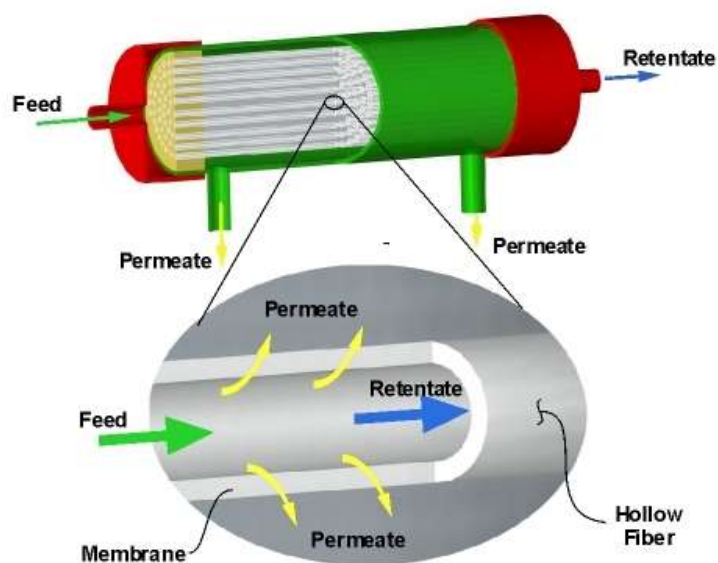


Figura 7: Membrana mòdul fibra buida

Taula 2: Configuracions membranes (Font: Sinha, Shishir [10])

PARÀMETRE		MÒDUL		
		Tubular	En espiral	Fibra buida
Superfície específica (m^2/m^3)		300	1000	15000
Diàmetre interior (mm)		20-50	4-20	0,5-2
Cabal ($L/m^2 \cdot dia$)		300-1000	300-1000	30-100
Producció ($m^3/m^3 \cdot mòdul i dia$)		100-1000	300-1000	450-1500
Velocitat en l'espai (cm/s)		100-500	25-50	0,5
Pèrdua de pressió (bar)		2-3	1-2	0,3
Pretractament		Simple	Mitjà	Elevat
Recanvi de peces		Fàcil	Difícil	Impossible
Neteja	Mecànica	Possible	Impossible	Impossible
	Química	Possible	Possible	Possible

1.2.2.2 Classificació de membranes

Les membranes es poden classificar depenent de la seva mida, massa i càrrega (Figura 8).

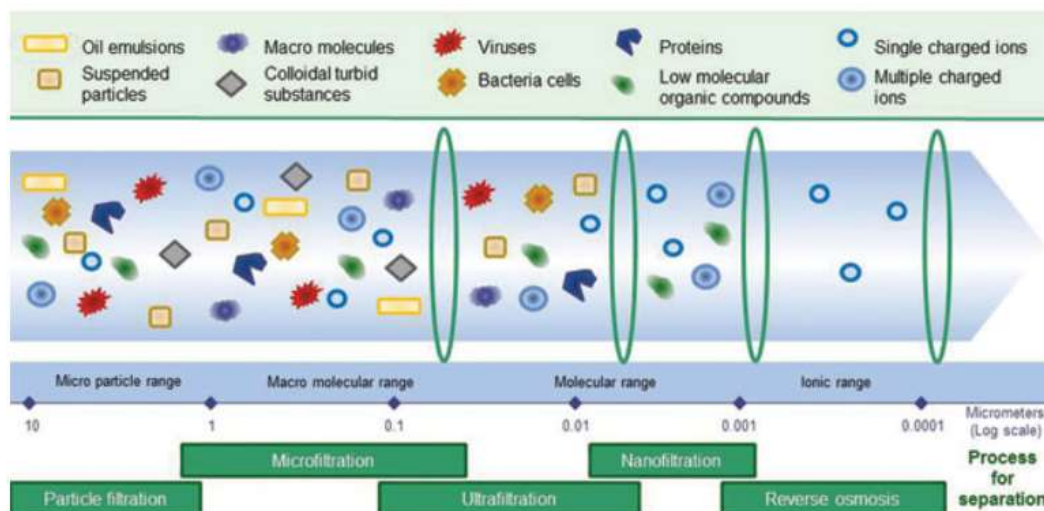


Figura 8: Espectre de filtració

- Microfiltració: és capaç de separar compostos amb una mida superior a 0,1 µm (Taula 3). S'utilitza per retenir bacteris i altres tipus de macromolècules [12].
- Ultrafiltració: membrana entre la microfiltració i l'osmosi inversa. Elimina macromolècules i partícules (0,1-0,04 µm), tot i que l'eliminació de colorants mai arriba a ser total. Venen caracteritzades per un pes molecular a partir del qual la membrana reté més del 95% del solut [13].
- Nano filtració: aquest tipus de membranes retenen compostos orgànics de baix pes molecular, ions divalents, ions monovalents grans, colorants reactius hidrolitzats i productes auxiliars de tintura de fins a 0,001 µm [14].
- Osmosis inversa: aquest tipus de membranes tenen un rati de retenció del 90% per a la majoria dels components iònics i produeix un permeat d'alta qualitat. L'osmosi inversa permet l'eliminació de totes les sals minerals, colorants reactius hidrolitzats i productes auxiliars amb un rang de separació de 0,0001 µm. Com més alta sigui la concentració de sal, més important és controlar la pressió osmòtica i per tant l'energia necessària per fer el procés de separació [14].

Taula 3: Classificació dels processos de membrana (Font: Buscio, V. 2015)

PROCÉS	FORÇA IMPULSORA	RANG DE SEPARACIÓ
Microfiltració (MF)	Gradient de pressió	10-0,1 µm
Ultrafiltració (UF)	Gradient de pressió	0.1-0,04 µm
Nanofiltració (NF)	Gradient de pressió	0,001 µm
Osmosis inversa (OI)	Gradient de pressió	0,0001 µm

Electrodiàlisi	Gradient de potencial elèctric	<0,005 μm
Diàlisi	Gradient de concentració	<0,005 μm

1.2.2.3 Embrutiment de les membranes

Una de les principals limitacions dels processos de membranes és el seu embrutiment, que comporta un increment del cost operacional del tractament.

Es poden diferenciar dos tipus d'embrutiment: l'interior o irreversible, en el qual les partícules es dipositen en l'interior dels porus de la membrana, i l'embrutiment extern o reversible en el qual les partícules se situen en la superfície de la membrana [7].

L'embrutiment exterior es pot eliminar per mitjans físics que no danyen la membrana com ara la creació de turbulències o un rentat a contracorrent amb el permeat obtingut durant el procés de filtració [7]

L'embrutiment interior és més elevat quan la neteja física de la membrana és deficient ja que l'acumulació de partícules en la superfície comporta un major tapament dels porus (Figura 9). Aquest embrutiment és irreversible perquè encara que es netegi amb agents químics la membrana mai quedarà del tot neta. És per això que la neteja de la membrana d'ultrafiltració és tan important per garantir un bon rendiment durant el major temps possible. Una reducció de la vida útil de la membrana comporta un augment del cost operacional del procés.

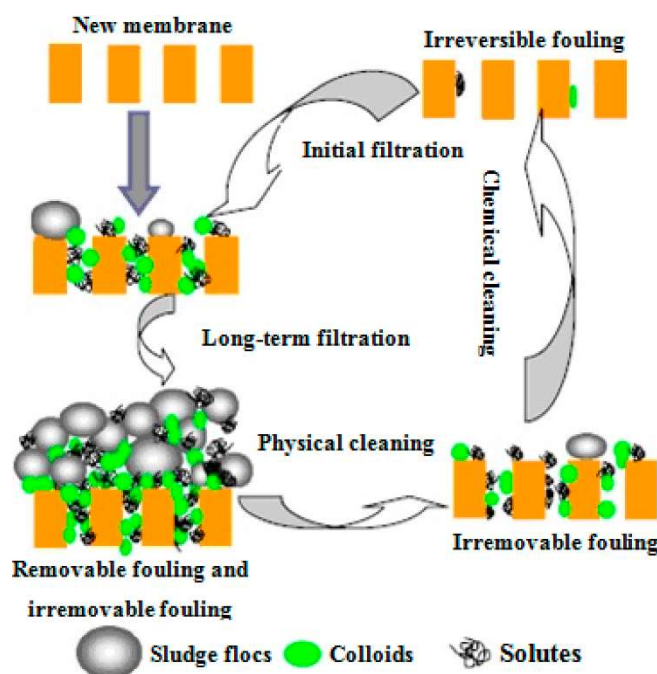


Figura 9: Embrutiment de la membrana

1.3 Colorants

1.3.1 Definició i tipus de colorants

Un colorant és una substància que conté color, que pot ser aplicada mitjançant solució o dispersió a un substrat i és capaç de produir-li color (Taula 4).

Els grups cromòfors són els responsables de l'efecte de color (compostos amb un o més grups cromòfors reben el nom de cromògens, generadors de color).

Taula 4: Característiques colorants (Font: Presentació materials colorants Canal Arias, JM. 2016)

COLORANT	FIBRES	PROCÉS TINTURA	COST COLORANT	ESTRUCTURA QUÍMICA
Directes	Cotó, raió-viscosa, raió-acetat, lli, cànem (fibres cel·lulòsiques)	Fàcil i econòmic	Barat	Aniònics Poli-azo
Reactius CO	Cotó	Més complicat i consumeix més aigua	El doble de preu que els colorants directes	Azo Azo metal·litzats Antraquinones
Reactius WO	Llana	Més complicat i consumeix més aigua	El doble de preu que els colorants directes	Azo Azo metal·litzats Antraquinones
Sulfurosos	Cotó, raió-viscosa, raió-acetat, lli, cànem (fibres cel·lulòsiques)	Complicat	Econòmic	Sulfurosos
Tina	Cotó, raió-viscosa, raió-acetat, lli, cànem (fibres cel·lulòsiques)	Similar als sulfurosos però ecològicament més barat	Cost elevat	Antraquinona Indigo
Indigosols	Cotó, raió-viscosa, raió-acetat, lli, cànem (fibres cel·lulòsiques)	Similar als sulfurosos però ecològicament més barat	Cost elevat	Antraquinona Indigo
Dispersos	Polièster	-	-	No iònics
Catiònics	Acríliques, modacríliques	-	-	Trifenilmetà
Naftols	Aramida, Spandex, Nòtex	-	-	

1.3.2 Colorants directes

El nom d'aquests colorants és degut a la facilitat que tenen de ser aplicats directament a la fibra sense la necessitat d'un tractament preliminar.

Són substàncies molt solubles en aigua, fet que contribueix a la versatilitat en la seva aplicació, però rebaixant les propietats de resistència, especialment a la transpiració i rentat.

Els colorants directes són utilitzats principalment per fibres cel·lulòsiques (paper inclòs).

Els colorants directes pertanyen a dues grans famílies químiques:

- a) Colorants azoics: es caracteritzen per tenir un o més grups "azo" $-N=N-$, i se subdivideixen en dos grups:
 - Derivats d'amines del difenil.
Exemple: C.I Ataronjat directe 25 (C.I 22135)
 - Derivats de l'àcid "J", en els quals aquest àcid intervé com a compost intermedi, compost final o formant derivats de tipus ureic. Normalment aquests colorants són més sòlids que els derivats del difenil.
Exemple: C.I Vermell directe 16 (C.I 17680)
- b) Colorants tiazòlics: formen un grup de matisos que principalment cobreix els colors groguencs, ataronjats o bruns. Es caracteritzen per contenir un anell tiazòlic.
Exemple: C.I Groc directe 59 (C.I 49000) [15].

1.3.2.1 *Propietats tintòries:*

Els colorants directes són solubles en aigua i pocs requereixen carbonat sòdic per dissoldre's. La seva solubilitat augmenta amb el nombre de grups sulfònics i amb la temperatura, i disminueix amb l'augment del seu pes molecular. Són solubles en piridina i resisteixen bastant l'acció dels àcids, encara que alguns són tan sensibles que amb l'àcid oleic ja es desmunten o s'extrauen de la fibra; els més estables tendeixen a envermellar amb els àcids [15].

1.3.2.2 *Procediments generals de tintura sobre fibres cel·lulòsiques:*

En la tintura amb colorants directes es poden diferenciar clarament tres etapes:

1. Dissolució del colorant.
2. Tintura pròpiament dita.
3. Tractaments posteriors.

La dissolució no presenta gaires dificultats ja que els colorants directes, gràcies a la seva constitució en grups sulfònics, tenen una gran solubilitat, la qual pot estar modificada per presència de sal. La dissolució ha de fer-se amb aigua desmineralitzada, ja que la utilització d'aigües dures dificulta la dissolució dels colorants.

La tintura pot fer-se, segons la presentació del teixit i maquinària disponible:

- a) Sistemes per esgotament: processos discontinus i on la matèria es manipula per partides o lots. El procés arriba a temperatures entre 115-130°C.

- b) Sistemes per impregnació i fixació del colorant: processos semi continus o continus. Es caracteritzen perquè la matèria, generalment, s'impregna amb la solució tintòria en una pastera i s'escorre entre rodets d'un fulard, procedint després a la fixació per diferents procediments [15].

1.4 Antecedents de tractament i reutilització d'efluents

Aquest apartat se centra en dos casos en què mitjançant diferents tractaments s'han pogut reutilitzar efluents de tintures tèxtils per a nous processos de tintures:

V. Buscio va fer una part de la seva tesi doctoral tractant aigües residuals de tintures de polièster de l'empresa Vincolor S.A. Aquest tractament es va realitzar a partir d'un tractament d'homogeneïtzació i decantació, seguit d'una membrana d'ultrafiltració de PVDF [16].

El projecte es va fer seleccionant nou tipus de colorants dispersos per tal de quantificar la capacitat de reutilització de l'aigua tractada per noves tintures.

El tractament d'homogeneïtzació es va dur a terme en un tanc de $200m^3$ i el temps de retenció hidràulica (HRT) va ser de 2,5 dies. Això es fa per tal de millorar el procés de membranes i fer que rebí un efluente més homogeni [16].

Per a la part d'ultrafiltració, es van utilitzar dos mòduls de membranes de fibres buides, una planta pilot de laboratori (Figura 11) i una altra planta semi-industrial (Figura 12).

La membrana del laboratori operava amb cicles de filtrat de 15 minuts i cicles de contra rentat de 30 segons amb el permeat; la membrana semi-industrial feia cicles de 30 minuts de filtrat i



Figura 11: Planta laboratori



Figura 10: Planta semi-industrial

30 segons de contra rentat amb el permeat. Després de cada procés de filtració les membranes eren rentades amb una solució d'hipoclorit sòdic [16].

Es va determinar una pèrdua de la DQO del 10% i una degradació del color del 17% després del tractament d'homogeneïtzació-decantació. Aquesta reducció es dona bàsicament per la barreja

dels diferents efluents, causant una dilució dels diferents components presents en l'aigua residual.

El problema més gran de les membranes d'ultrafiltració és el *fouling* ja que causa una reducció de la permeabilitat i conseqüentment un augment del cost de manteniment de la membrana. No obstant això, la membrana pilot del laboratori redueix el nivell de DQO un 60% i provoca una degradació del color del 20%. La planta semi-industrial arriba al mateix punt de reducció de la DQO però aconsegueix una degradació del color del 33%; més elevada que la planta pilot del laboratori.

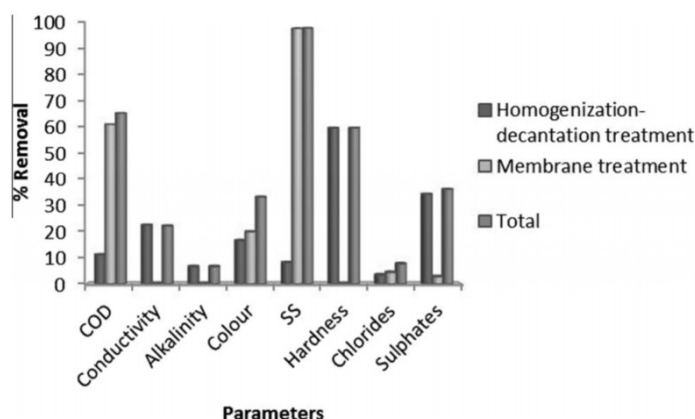


Figura 12: % Degradació diferents paràmetres

Després dels dos tractaments (homogeneïtzació-decantació i posteriorment ultrafiltració), s'arriba a una reducció del 66% de la DQO i una degradació del color del 30%. La reducció més important es troba en els sòlids en suspensió, que es redueixen un 98%. La Figura 12 ens mostra el % de degradació dels diferents paràmetres estudiats per cada tipus de tractament i el total.

En la reutilització del permeat per fer tintures, les monocromies fetes amb el 100% del permeat reutilitzat donen unes diferències de color $DE_{CMC(2:1)}$ més baixes que 1,5 (nivell màxim acceptat pel control de qualitat de l'empresa). Amb el 50% de reutilització del permeat totes les tricromies entraven dins del rang de diferència de color acceptat per l'empresa.

Es conclou que aquest tractament pot ser utilitzat a nivell semi-industrial tal i com han mostrat els resultats aconseguits tant en la planta pilot de laboratori com en la planta semi-industrial.

S'han fet diversos estudis per a l'aplicació de diferents tècniques electroquímiques per part de l'equip d'investigació de l'INTEXTER per tal de degradar efluents tèxtils, i entre aquestes tècniques es troba l'oxidació indirecta, mètode que serà utilitzat per a la realització d'aquest projecte [1,6]. En diversos estudis amb colorants reactius, les decoloracions han estat superiors al 90% i les tintures fetes amb aigua reutilitzada han aconseguit unes $DE_{CMC(2:1)}$ inferiors a 1. S'ha arribat a quantificar un estalvi d'aigua del 70% i un estalvi de sal del 60

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar la viabilitat dels mètodes electroquímics i de membranes d'ultrafiltració per al tractament dels efluent de tintura de l'empresa Vincolor S.A., i, a més a més, estudiar com es poden reutilitzar en nous processos de tintura.

D'acord amb aquest objectiu general s'han plantejat els següents objectius específics, segons el tipus de colorant present en els efluent:

- Colorants directes:
 - Estudi de la viabilitat del tractament dels efluent industrials amb colorants directes mitjançant processos electroquímics d'oxidació indirecta.
 - Determinació de l'efecte de la intensitat de treball en el tractament electroquímic.
 - Estudi de reutilització dels efluent tractats en nous processos de tintura (monocromies i tricromies). Determinació de la quantitat d'efluent que pot reutilitzar-se en nous processos de tintura.
- Colorants directes i colorants dispersos:
 - Estudi del tractament d'efluent industrials amb colorants directes i dispersos mitjançant processos electroquímics.
 - Estudi de reutilització dels efluent tractats mitjançant mètodes electroquímics en nous processos de tintura (monocromies i tricromies).
 - Avaluació de la capacitat de les membranes d'ultrafiltració per la retenció dels colorants directes i reactius.

3. MATERIALS I MÈTODES

3.1 Colorants directes utilitzats

Per la realització d'aquest projecte s'han utilitzat tres colorants directes: Taronja Indosol 2GLN (Taronja), Rubinol Indosol SFRGN (Rubinol) i el Blau Indosol SF-GL (Blau). La Taula 5 mostra les seves principals característiques. Aquests colorants són subministrats per l'empresa Vincolor S.A. ja que són els utilitzats en els seus processos de tintura.

La Figura 14 i la Figura 13 ens mostren l'estructura química dels colorants Taronja i Blau. L'estructura química del colorant Rubinol no és coneguda.

Taula 5: Colorants directes utilitzats

COLORANT	C.I	Constitution Number	GRUP CROMÒFOR
TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	Direct Orange 39	40215	Azo
RUBINOL INDOSOL SFRGN	-	-	Azo
BLAU INDOSOL SF-GL	Direct Blue 90	231560	Azo

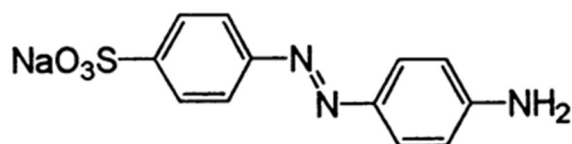


Figura 14: Estructura química TARONJA INDOSOL 2GLN sgr

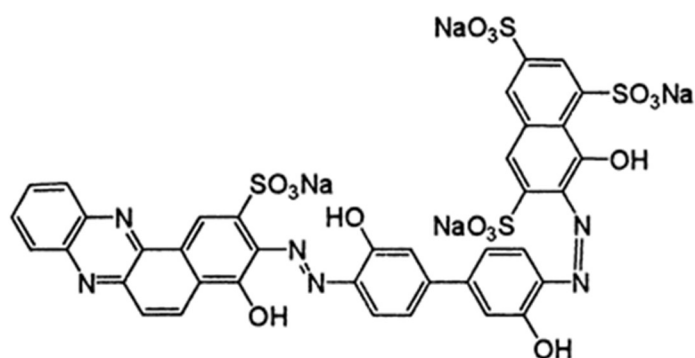


Figura 13: BLAU INDOSOL SF-GL

Reactius utilitzats

Taula 6 es llisten els diferents reactius utilitzats durant la realització del projecte, la seva funció i el grau de puresa/normalitat.

Taula 6: Reactius utilitzats

REACTIUS	FUNCIONS	GRAU PURESA (%)	NORMALITAT (N)
Àcid fòrmic	Fixació colorant després tintura	85	-
Àcid sulfúric	Valoració DQO	95-97	-
Àcid sulfúric amb sulfat de plata	Valoració DQO	96 (sulfat de plata)	-
Àcid clorhídric	Regulació pH efluent	-	1
Aigua bi-destil·lada	Anàlisi TOC	-	-
Aigua destil·lada	Realització dilucions diverses	-	-
Aigua descalcificada	Aigua utilitzada durant tot el procés de tintura	-	-
Bisulfit sòdic	Eliminació del clor lliure i total	38-42.2	-
Cromat de potassi	Determinació manual clorurs	5	-
Dicromat de potassi amb sulfat de mercuri	Valoració DQO	-	0.04
Dicromat de potassi	Valoració DQO	-	0.25
EPENFIX	Producte fixador	-	-
Nitrat de plata	Determinació manual clorurs	-	0.1
Sal de mohr	Valoració DQO	-	0.12
Hidròxid de sodi	Regulació pH efluent	-	2

3.2 Mètodes analítics

3.2.1 pH-metre

El pH de l'efluent s'ha determinat mitjançant el pH-metre CRISON (Figura 15), seguint la norma 4500 H^+ de *Standard Methods* (22^a edició) 2012. La Taula 7 ens mostra les seves característiques.

Taula 7: Característiques pH-metre

FABRICANT	MODEL	INTERVAL DE TREBALL	TOLERÀNCIA
CRISON	GLP 21	-3 a 15	+/- 0.13



Figura 15: pH-metre Crison

3.2.2 Conductímetre

La conductivitat dels efluents es va determinar utilitzant el conductímetre CRISON GLP 31 (Figura 16) i seguint la norma 2510-B de *Standard Methods* (22^a edició) 2012. La Taula 8 ens mostra les seves característiques.

Taula 8: Característiques conductímetre

FABRICANT	MODEL	INTERVAL DE TREBALL	TOLERÀNCIA
CRISON	GLP 31	150-1500 mS/cm	1.5%



Figura 16: Conductímetre Crison

3.2.3 TOC

Per tal de determinar el carboni orgànic total (TOC), s'ha utilitzat l'analitzador de carboni Shimadzu TOC-L (Figura 17) i la norma UNE-EN 1484-98. Les seves principals característiques s'especifiquen a la Taula 9.

Per al càlcul de l'eliminació de TOC es va utilitzar la següent equació:

$$\text{Eliminació TOC(\%)} = \frac{(TOC_{inicial} - TOC_{final})}{TOC_{inicial}} \times 100$$

Taula 9: Característiques TOC

FABRICANT	MODEL	INTERVAL DE TREBALL
SHIMADZU	L CSN	1-100ppm C.O



Figura 17: Analitzador de carboni orgànic total (TOC)

3.2.4 Determinació de la degradació de color

La degradació de color es va determinar mitjançant l'espectrofotòmetre (Figura 18) i segons la norma 2120 B de *Standard Methods* (22^a edició) 2012. La Taula 10 ens mostra les característiques de l'espectrofotòmetre.

Per cada mostra inicial es determina en quina longitud d'ona té una absorbància màxima, i és en aquesta longitud d'ona en la qual analitzarem aquesta degradació del color.

Es determina la decoloració de la mostra (en %) mitjançant la següent equació:

$$D(\%) = \frac{(Abs_{inicial} - Abs_{final})}{Abs_{inicial}} \times 100$$

Taula 10: Característiques Espectrofotòmetre

FABRICANT	MODEL
SHIMADZU	UV-2401 PC

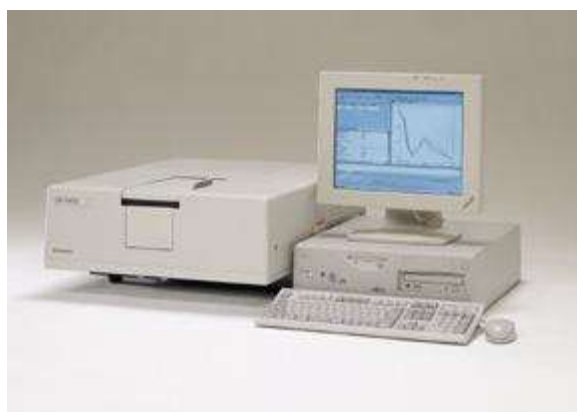


Figura 18: Espectrofotòmetre UV

3.2.5 Determinació clorurs

La determinació del clorurs presents en els efluents es va determinar mitjançant dos mètodes:

3.2.5.1 Cromatògraf iònic (Figura 19):

Segons la norma 4110 de *Standard Methods* (22^a edició) 2012 i mitjançant el cromatògraf iònic ICS-1000 ION de la casa Dionex.



Figura 19: Cromatògraf Iònic

3.2.5.2 Determinació manual:

Segons la norma 4500 Cl^- de *Standard Methods* (22^a edicion) 2012. A la Figura 20 es mostra el procés de valoració de la mostra.



Figura 20: Valoració manual clorurs

3.2.6 Clor lliure i total

Determinació realitzada mitjançant el *CHECKIT Comparator-Kit* de Lovibond (Figura 21).

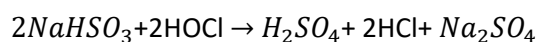


Figura 21: Determinació quantitat clor lliure i total de la mostra

El passos a seguir per la realització de l'assaig:

1. Realitzar una dilució de la mostra ja que l'escala del comparador va de 0 a 4ppm. Per totes les mostres assajades s'ha realitzat una dilució 1/50 amb aigua destil·lada.
2. S'afegeix una pastilla DPD nº1 (dissolució ràpida) i agitem la proveta per tal de poder valorar el clor lliure de la mostra.
3. Afegim una segona pastilla DPD nº3 i tornem a agitar la proveta. Després d'esperar dos minuts podem valorar el nivell de clor total de la mostra mitjançant el comparador, en el qual cal posar-hi una segona proveta amb la mostra diluïda per poder fer l'assaig.

L'eliminació del clor residual es va portar a terme afegint bisulfit sòdic:



El càlcul del bisulfit sòdic necessari per eliminar el clor en la mostra es realitza a partir de la següent equació:

$$\text{mL bisulfit sòdic} = \text{L de mostra} \times \frac{(\text{ppm de clor} \times \text{dilució realitzada})}{1\text{L}} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{mol Cl}_2}{71\text{g Cl}_2} \times \frac{1\text{mol NaOH}\text{SO}_3}{1\text{mol Cl}_2} \times \frac{104,6\text{g NaOH}\text{SO}_3}{1\text{mol NaOH}\text{SO}_3} \times \frac{100\text{mL solució}}{40\text{g NaOH}\text{SO}_3}$$

3.2.7 Anàlisi DQO

Segons la norma 5220 de *Standard Methods* (22^a edició) 2012. La Figura 23 i la Figura 22 mostren moments del procés de valoració del nivell de DQO dels efluent.



Figura 23: Escalfament mostres per realitzar la valoració de la DQO

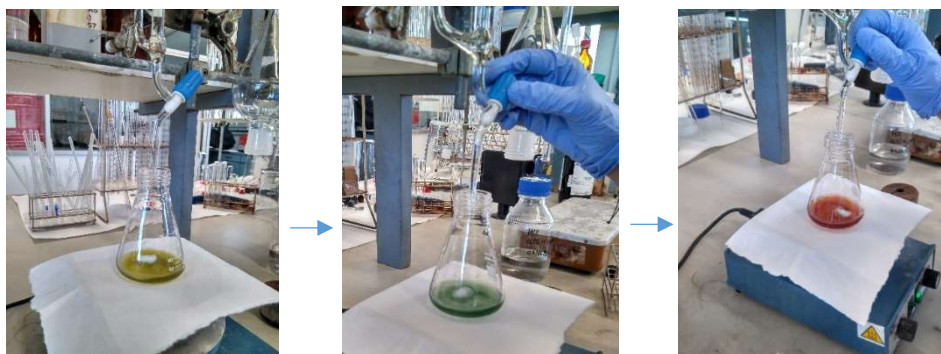


Figura 22: Etapes valoració DQO

3.2.8 Determinació diferència de color

Les diferències de color entre les tintures de referència i les tintures amb aigua reutilitzada es van determinar utilitzant l'espectrofotòmetre CM-3600d (Figura 24), de la casa Konica Minolta (Japó) i el programa informàtic SpectraMagic, també desenvolupat per Konica Minolta. Aquest espectrofotòmetre va equipat amb un sistema de control de brillantor numèric (SCI/SCE) [5].

La determinació de les coordenades cromàtiques són definides per tres eixos que corresponen a tres paràmetres diferents:

1. L: lluminositat de la mostra. Valors de 0 (negre) a 100 (blanc)
2. a: valors positius indiquen quantitat de vermell en la mostra, valors negatius indiquen la quantitat de verd.
3. b: valors positius indiquen la quantitat de groc en la mostra, valors negatius indiquen la quantitat de blau.

A partir d'aquests paràmetres, l'espectrofotòmetre calcula la diferència en les coordenades cromàtiques entre les mostres de referència i les mostres realitzades amb aigua reutilitzada, obtenint els següents paràmetres:

- DL: diferència de lluminositat
- DC: diferència de saturació, permet diferenciar des d'un color pur a la seva tonalitat més grisa.
- DH: diferència de tonalitat, valors que van dels 0º 360º.

Les diferències de color es calculen mitjançant la fórmula $DE_{CMC(2:1)}$ següent, d'acord amb la norma UNE-EN ISO 105-J03:1997. [6]

$$DE_{CMC(2:1)} = \left[\left(\frac{DL}{2S_L} \right)^2 + \left(\frac{DC_{ab}}{S_C} \right)^2 + \left(\frac{DH_{ab}}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

On:

$$S_L = 0.040975L_R / (1 + 0.01765L_R) \text{ si } L_R \geq 16$$

$$\text{o } S_L = 0.511 \text{ si } L_R < 16;$$

$$S_C = [0.0638C_R / (1 + 0.0131C_R)] + 0.638;$$

$$S_H = (F + 1 - F) S_C$$

$$F = \{(C_R)^4 / [(C_R)^4 + 1900]\}^{1/2};$$

$$T = 0.36 + |0.4 \cos(35 + h_R)| \text{ si } h_R \geq 345^\circ \text{ o } h_R \leq 164^\circ$$

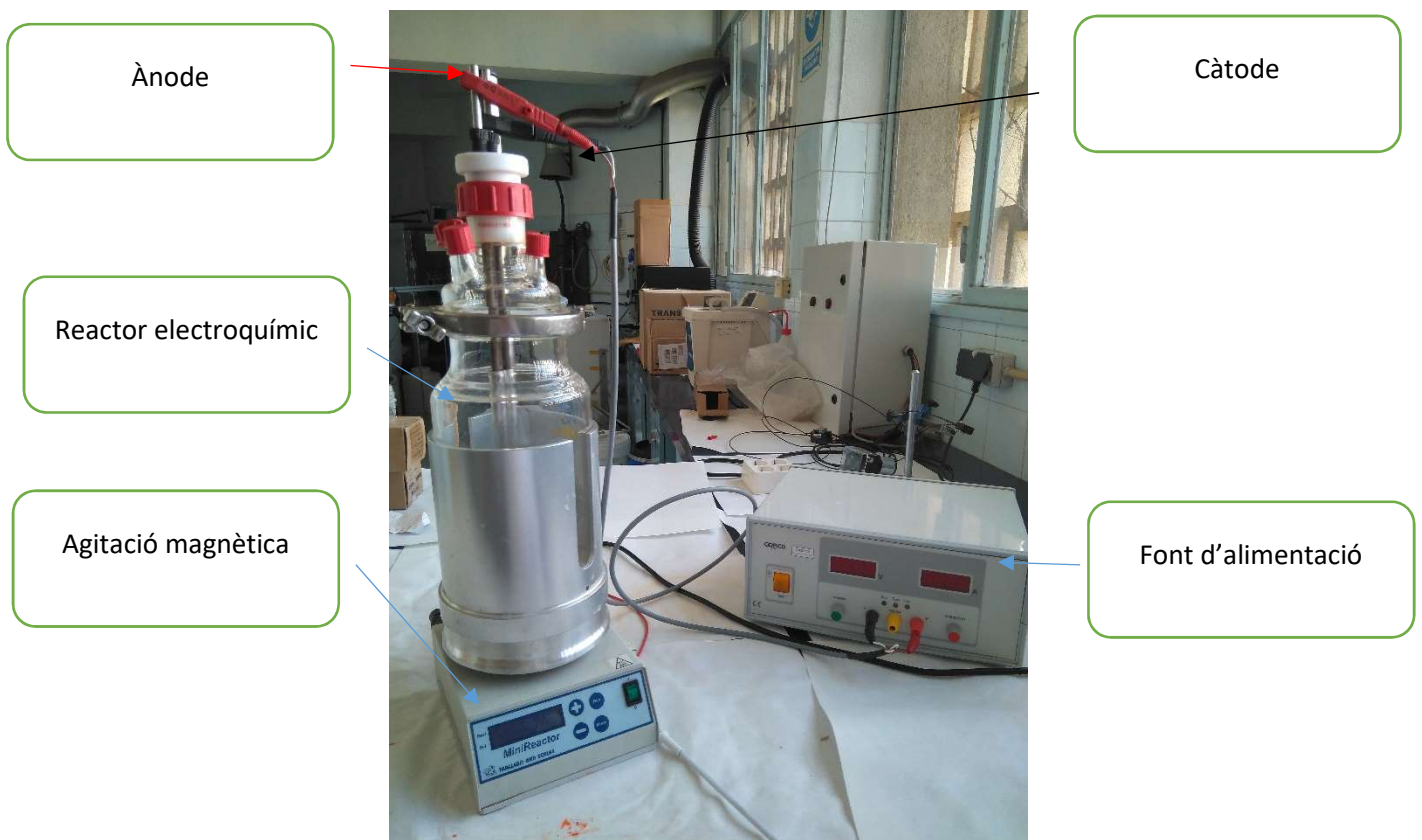
$$\text{o } T = 0.56 + |0.2 \cos(168 + h_R)| \text{ si } 164^\circ < h_R < 345^\circ$$

L_R, C_R, h_R són les coordenades cromàtiques de les tintures de referència. [6]

El departament de control de qualitat de l'empresa Vincolor S.A. accepta una diferència de color $DE_{CMC(2:1)} \leq 1$.



3.3 Reactor electroquímic



3.3.1 Cel·la

La cel·la electroquímica (Figura 25) que s'ha utilitzat és una *SBC (Simple Batch Cell)* amb un volum de 2L. Aquesta cel·la és indivisible, i compta amb un sistema d'agitació continua que s'ha fixat a 400 rpm per tots els experiments.

3.3.2 Elèctrodes

Els elèctrodes utilitzats són de Ti/Pt per la seva resistència a l'oxidació. Són dues barres cilíndriques amb l'interior de titani recobert de platí. Tenen una superfície específica de 113cm^2 .

3.3.3 Font d'alimentació

Mitjançant la font d'alimentació (Figura 26) apliquem **diferents intensitats** per poder estudiar l'influència d'aquesta en la degradació de color de l'efluent (Taula 11).

Taula 11: Característiques font alimentació

FABRICANT	MODEL	TENSIÓ SORTIDA (Vcc)	CORRENT SORTIDA (A)	DIMENSIONS (mm)	POTÈNCIA (W)
GRELCO	GVD310	0-30	0 a 10	325x135x260	300



Figura 26: Font d'alimentació

3.4 Caracterització membrana

Per la realització d'aquest projecte s'ha treballat amb la membrana UOF-1b (Motimo-Xina). És una membrana d'ultrafiltració de fibra buida i PVDF (Figura 27). Les principals característiques de la membrana es detallen a la (Taula 12).

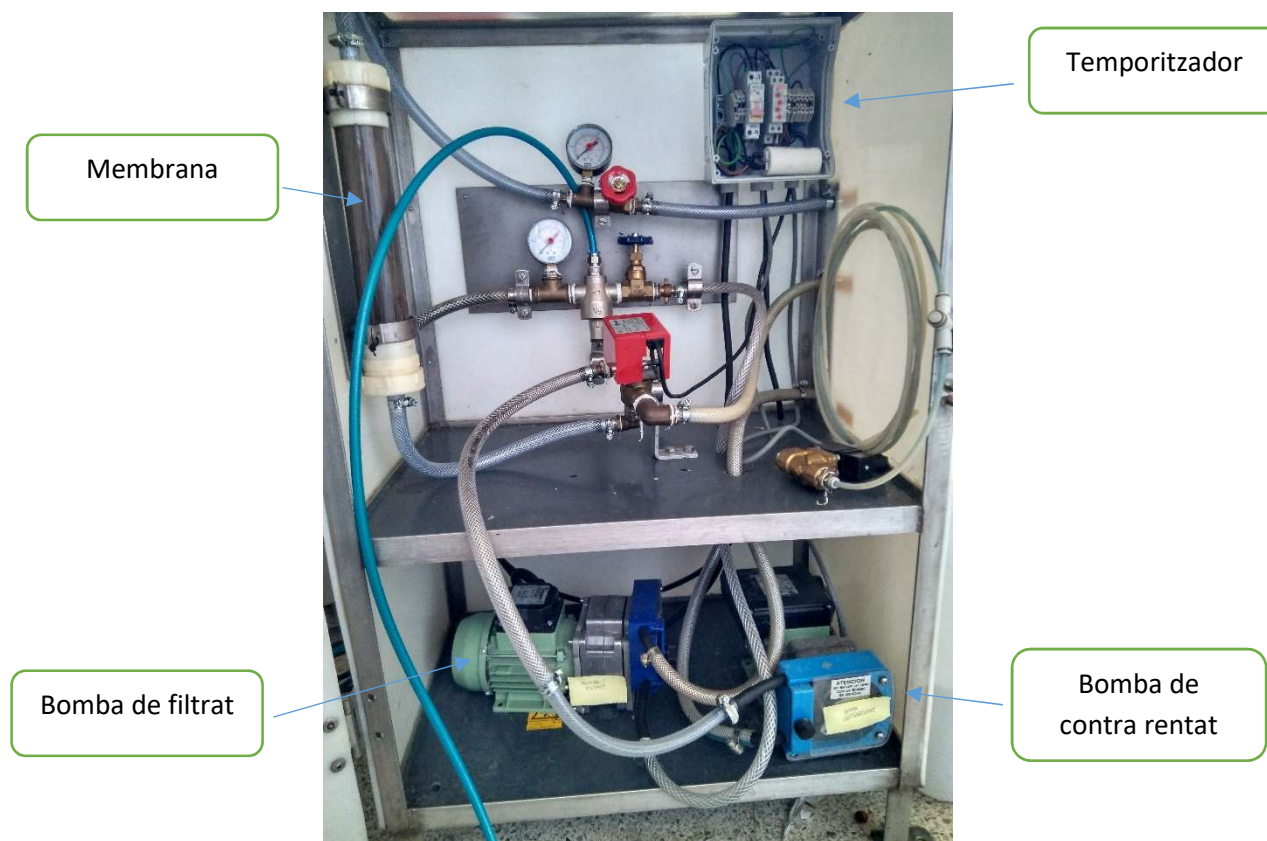


Figura 27: Planta amb membrana d'ultrafiltració (INTEXTER)

Per als tractaments es va establir un procés cíclic amb un temps de filtrat de 10 minuts seguit d'un temps de contra rentat de 30 segons. El cabal del tractament es va establir en 9,12L/h.

Taula 12: Característiques de la membrana

Membrana	Configuració	Mida de porus (μm)	Superfície de membrana (m^2)
U-1b	Externa	0.04	0.5

La Figura 28 mostra un esquema del funcionament de la planta pilot. L'aigua a tractar és impulsada per una bomba peristàltica fins al mòdul de membrana, el permeat és enviat a un dipòsit i el rebuig és tornat al dipòsit d'alimentació. El permeat, impulsat per una bomba peristàltica, s'utilitza per al procés de rentat a contracorrent.

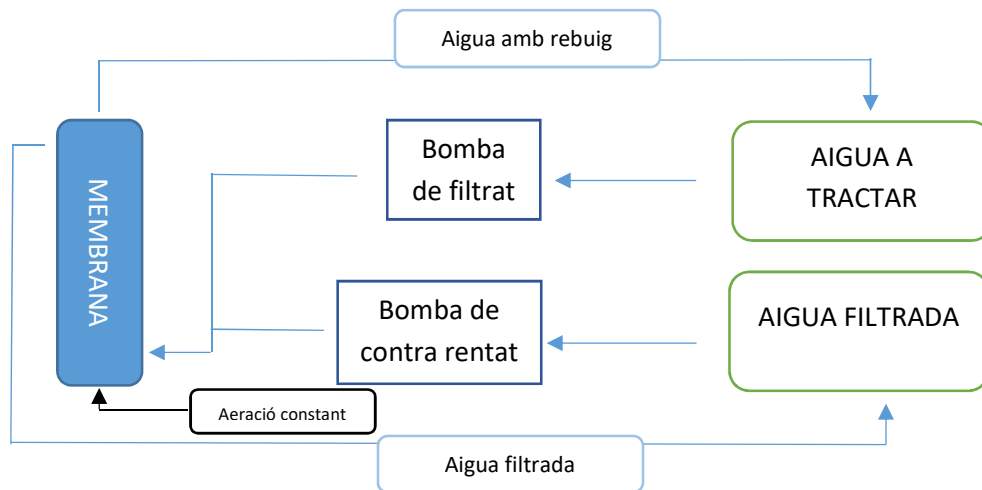


Figura 28: Esquema de funcionament de la planta de filtració

3.5 Procés de tintura

El procés de tintura s'ha portat a terme en la màquina de tintura per esgotament TI-CONTROL. Té una capacitat màxima de 12 tubs, en els quals individualment s'hi pot posar 100mL de bany (Figura 29). El procés de tintura utilitzat (Figura 30) és el mateix que actualment utilitza l'empresa Vincolor.



Figura 29: Màquina de tintura Ti-Color

El procés de tintura de Vincolor S.A. es fa tan sols amb l'aigua i els colorants, i quan el procés arriba als 130°C (temperatura màxima) s'afegeix la sal. Per tal de simplificar el procés i no haver

de parar la màquina i obrir tots els pots (amb la conseqüent pèrdua de temperatura) en la realització del projecte aquesta tintura serà *all in*, és a dir, la sal serà afegida a l'inici del procés, juntament amb el colorant i l'aigua.

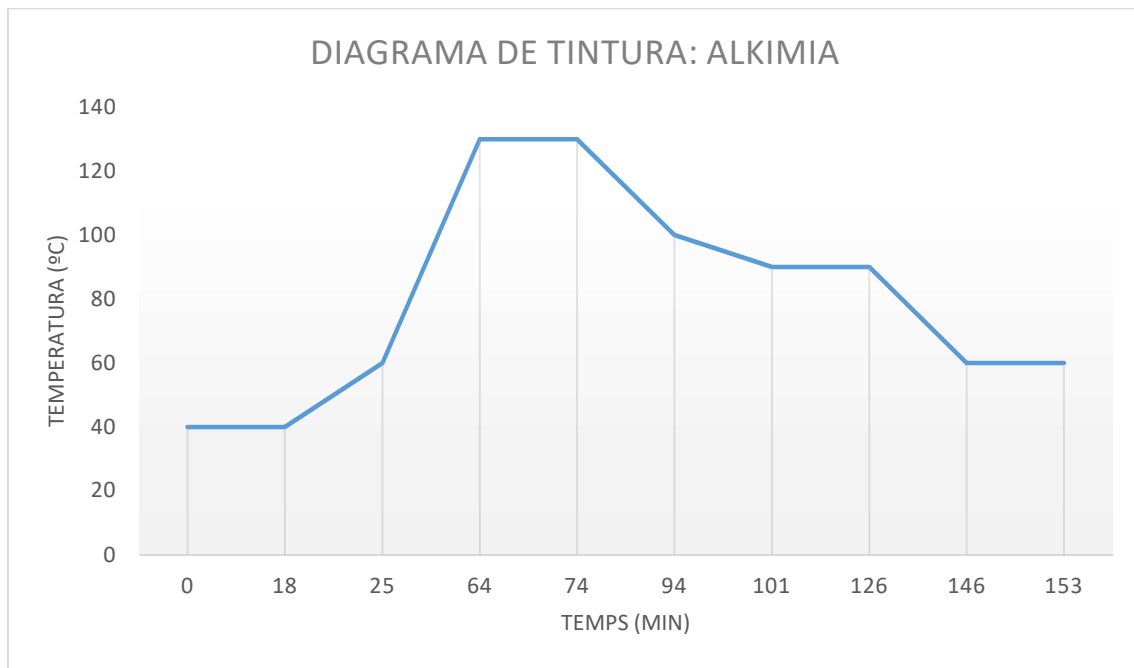


Figura 30: Diagrama de tintura

Posteriorment, es realitzen dos etapes de rentat amb aigua descalcificada i una última etapa de rentat on a part de l'aigua descalcificada s'afegeixen els productes auxiliars per tal de garantir una millor fixació del colorant sobre el teixit. Aquests rentats es realitzen a una temperatura constant de 40°C durant un temps de 46 minuts (Figura 31).

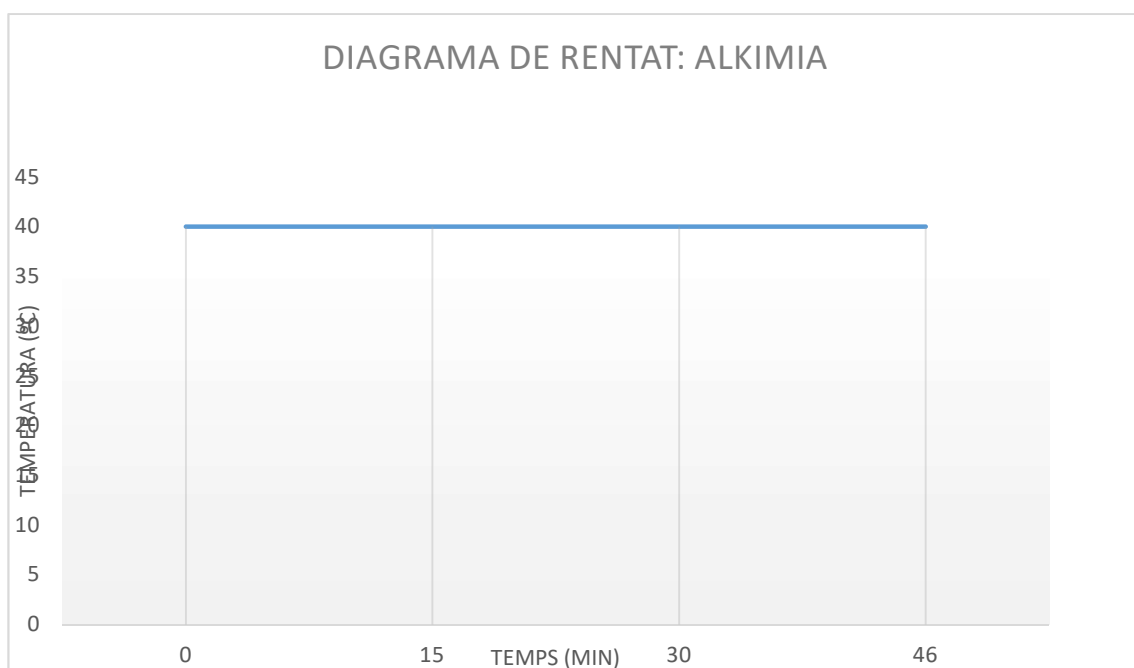


Figura 31: Rentat Alkimia

Per tant, el procés de tintura complet es pot veure de forma resumida a la Figura 32.

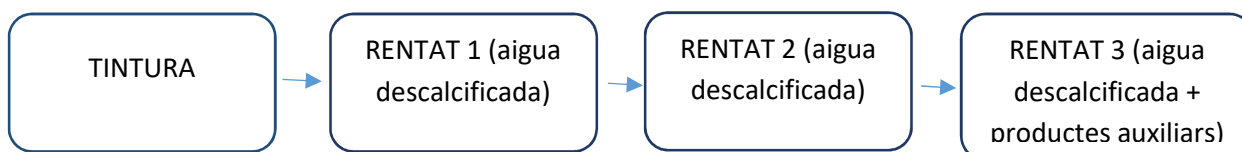


Figura 32: Procés de tintura complet

En aquest projecte es treballa amb tres colorants directes diferents (Taula 13), i es realitzaran cinc tipus de tintures diferents: tres monocromies (per cada un dels diferents colorants) i dues tricromies (Tricromia Vincolor i Tricromia Nova); l'especificada per Vincolor S.A. i una altra les proporcions de la qual són escollides al laboratori (Taula 13). A la Taula 14 s'especifiquen els productes auxiliars que s'afegeixen en el bany del tercer i últim rentat, a la mateixa taula també hi trobem la concentració de sal hidrolitzada del bany de tintura.

Taula 13: Tipus tintures realitzades

Referència teixit	Colorant/s	Concentració (%spf)
TARONJA	TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	1
RUBINOL	RUBINOL INDOSOL SFRGN	1
BLAU	BLAU INDOSOL SF-GL	1
TRICROMIA VINCOLOR	TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	0,158
	RUBINOL INDOSOL SFRGN	0,200
	BLAU INDOSOL SF-GL	0,405
TRICROMIA NOVA	TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	1
	RUBINOL INDOSOL SFRGN	1

Taula 14: Productes auxiliars de rentat

Tipus	Concentració
SAL HIDROLITZADA TRISAL	36,00 g/L
EPENFIX PFV	3,00 %spf
Àcid fòrmic	0.25g /L

El procés de tintura es va portar a terme amb relació de bany (Rb) de $\frac{1}{25}$, per tant, per 100ml de bany de tintura tindrem 4g de mostra de teixit a tenyir.

A la Figura 33 es mostra un diagrama amb els diferents passos per la realització de les tintures.

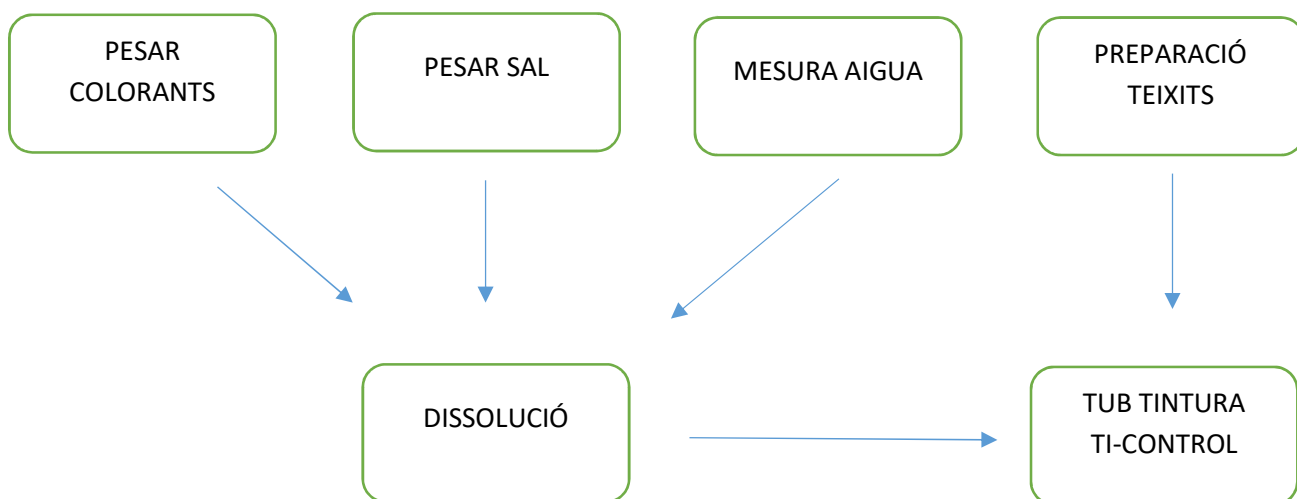


Figura 33: Passos procés de tintura

3.6 Caracterització aigües

Les aigües tractades en aquest projecte són proveïdes per l'empresa de tintura Vincolor S.A, la qual va facilitar les concentracions de cada colorant en el bany de tintura inicial dels efluent utilitzats durant el projecte. No obstant, les concentracions dels colorants després del procés de tintura no es poden determinar, però aquestes dades ens permeten entendre millor el nivell de coloració de cada efluent.

3.6.1 Efluent 1 (E1): COLORANTS DIRECTES

Relació de bany (Rb)= 1/8

Taula 15: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent E1

Tipus	Colorant/Sal	Concentració
Colorants directes	TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	0,00380 %spf
	RUBINOL INDOSOL SFRGN	0,00290 %spf
	BLAU INDOSOL SF-GL	0,00440 %spf
Sal	Sal hidrolitzada TRISAL	9,00 g/L

3.6.2 Efluent 2 (E2): COLORANTS DIRECTES

Relació de bany (Rb)= 1/8

Taula 16: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent E2

Tipus	Colorant/Sal	Concentració
Colorants directes	TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	0.0380 %spf
	RUBINOL INDOSOL SFRGN	0.0440 %spf
	BLAU INDOSOL SF-GL	0.0560 %spf
Sal	Sal hidrolitzada TRISAL	18,00 g/L

3.6.3 Efluent 3 (E3): COLORANTS DIRECTES + COLORANTS DISPERSOS

Relació de bany (Rb)= 1/8

Taula 17: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent 3

Tipus	Colorant/Sal	Concentració
Colorants directes	TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	0,1580 %spf
	RUBINOL INDOSOL SFRGN	0,2000 %spf
	BLAU INDOSOL SF-GL	0,4050 %spf
Colorants dispersos	PARDO G. FORON S-2RFL 150	0,0480 %spf
	RUBI FORON RD-GFL 200	0,0116 %spf
	BLAU FORON RDS	0,0600 %spf
Sal	Sal hidrolitzada TRISAL	36 g/L

3.6.4 Efluent 4 (E4): COLORANTS DIRECTES + COLORANTS DISPERSOS

Relació de bany (Rb)= 1/8

Taula 18: Concentracions de colorants i sal en el bany de tintura inicial de l'efluent 4 (E4)

Tipus	Colorant/Sal	Concentració
Colorants directes	TARONJA INDOSOL 2GLN sgr	0.2580 %spf
	RUBINOL INDOSOL SFRGN	0.0822 %spf
	BLAU INDOSOL SF-GL	0.3860 %spf
Colorants dispersos	PARDO G. FORON S-2RFL 150	0.0513 %spf
	RUBI FORON RD-GFL 200	0.05280 %spf
	BLAU FORON RDS	0.05400 %spf
Sal	Sal hidrolitzada TRISAL	9 g/L

3.6.5 Efluent 5 (E5): COLORANTS DISPERSOS

Relació de bany (Rb)= 1/8

Taula 19: Concentracions de colorants en el bany de tintura inicial de l'efluent 5 (E5)

Tipus	Colorant	Concentració
Colorants dispersos	PARDO G. FORON S-2RFL 150	0.4304 %spf
	RUBI FORON RD-GFL 200	0.11108 %spf
	BLAU FORON RDS	3.3404 f

4. RESULTATS ASSAJOS AMB COLORANTS DIRECTES

4.1 Efluent 1 (E1)

4.1.1 Caracterització efluent 1

A la Taula 15 de l'apartat de materials i mètodes podem veure els colorants i quantitat de sal que contenia aquest bany de tintura, tot i que no podem saber la concentració dels colorants residuals després del procés de tintura. Com es pot veure a la Taula 20, l'efluent es caracteritza per una conductivitat entorn als 5mS/cm (el bany de tintura inicial contenia 9 g/L de sal) i un pH alcalí. A la Figura 34 es mostra l'aspecte de l'efluent 1

Taula 20: Característiques efluent 1 (E1)

PARÀMETRES	VALORS
Conductivitat (mS/cm)	4,64
pH	8.53
TOC (mg/L)	108,2
DQO (mgO_2/L)	406.119
Determinació UV visible	λ màxima visible: 531
	Absorbància λ màxima.: 0.165



Figura 34: Efluent 1

4.1.2 Tractaments realitzats amb l'efluent 1 (E1): variació intensitats (5A i 10A)

Es realitzen dos tractaments en el reactor electroquímic per aquest efluent E1 durant un temps de 18 minuts. El primer tractament es va realitzar a una intensitat constant de 10A i el segon a una intensitat constant de 5A.

La Taula 21 ens mostra la degradació de color respecte el temps. Podem comprovar a la Figura 35 que la degradació és més ràpida com més alta és la intensitat (el tractament a 10A als 3 minuts arriba al 43,63% de degradació per contra del 5,4% del tractament a 5A), tot i que a partir del minut 12 els resultats ja són molt similars (4,67% de diferència entre un tractament i altre), arribant ambdós a un estat de degradació semi-estacionari a partir d'una degradació del 60%.

Taula 21: Degradació de color tractaments E1

DEGRADACIÓ DE COLOR TRACTAMENTS E1				
Intensitat (A)	10A		5A	
Temps (min)	absorbància	% degradació de color	absorbància	% degradació de color
0	0,165	0	0,165	0
3	0,093	43,63	0,156	5,4
6	0,085	48,48	0,136	17,57
9	0,066	60	0,098	40,6
12	0,062	62,24	0,070	57,57
15	0,052	68,48	0,065	60,60
18	0,050	69,69	0,062	62,24
	T4		T5	

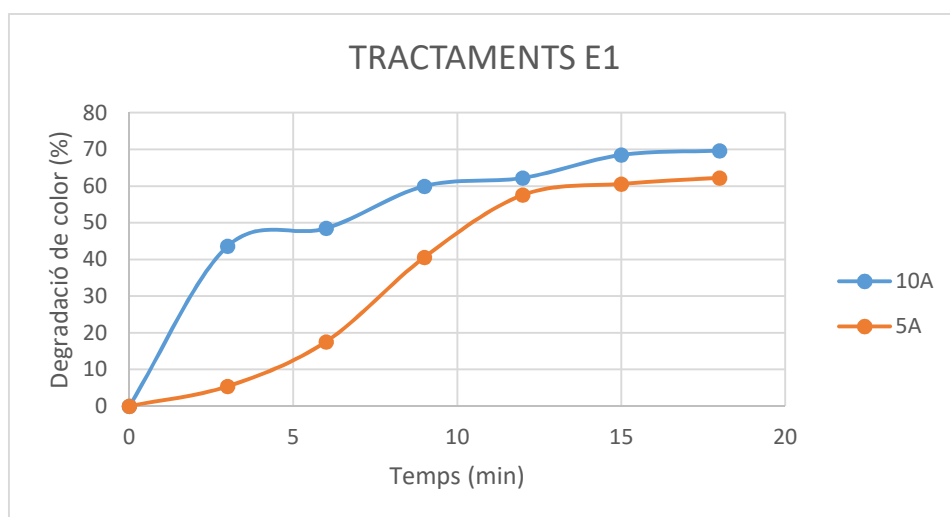


Figura 35: Degradació de color (%) dels tractaments amb l'efluent E1

La Figura 35 ens mostra com el tractament a 10A (T4) té una degradació de color més elevada que el tractament realitzat a 5A (T5). No obstant, la diferència és molt petita tenint en compte que la intensitat del tractament T4 era el doble que la intensitat de T5.

Pel tractament a 10A s'ha observat una disminució del TOC del 18% i pel tractament a 5A el TOC es va reduir aproximadament un 13% (Taula 22). Cal destacar, que la mineralització de l'efluent es podria aconseguir amb tractaments més llargs.

Taula 22: Degradació de TOC tractaments E1

DEGRADACIÓ DE TOC TRACTAMENTS E1				
Intensitat (A)	10A		5A	
Temps (min)	TOC (mg/L)	% degradació TOC	TOC (mg/L)	% degradació TOC
0	108.2	0	108.2	0
3	93.82	13.29	102.96	4.84
6	92.36	14.63	100.12	7.46
9	90.9	15.98	97.76	9.64
12	90.46	16.39	96.06	11.21
15	89.42	17.35	94.68	12.49
18	88.54	18.17	94.36	12.79
	T4		T5	

4.1.2.1 Característiques T4 i T5

Després de la realització dels tractaments, les característiques de les aigües tractades T4 i T5 a partir de l'efluent 1 (E1) es mostren a la Taula 23. Observem com el valor de la conductivitat i pH es mantenen pràcticament constants.

Taula 23: Característiques T4 i T5

PARÀMETRES	Tractament 10A (T4)	Tractament 5A (T5)
Conductivitat (mS/cm)	4,95	4,86
pH	7,38	7,52
TOC(mg/L)	88,54	94,36
Clor (ppm)	1,8	1,5

4.1.2.2 Realització tintures amb aigua reutilitzada de T4 i T5.

Un cop eliminat el clor format durant el tractament, s'ha calculat el nombre de clorurs restants en el bany i calculat l'estalvi d'aquest pel següent procés de tintura (20,88% per T4 i 17,50% per T5). La reutilització es va portar a terme amb el 50% i 100% de l'efluent tractat segons la metodologia de tintura estipulada a l'apartat de materials i mètodes.

4.1.2.3 $DE_{CMC(2:1)}$ T4

Les tintures que s'obtenen es comparen amb les referències (tintura amb aigua descalcificada) per tal de determinar la DE entre elles i estudiar la viabilitat de la reutilització de l'aigua.

Taula 24: $DE_{CMC(2:1)}$ Referències vs Tintura T4

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	0.06	-0.24	-0.63	0.67
	50% reutilització	0.13	0.05	0.22	0.26
RUBINOL	100% reutilització	-0.75	-0.40	0.27	0.89
	50% reutilització	0.56	-0.22	-0.10	0.61
BLAU	100% reutilització	-0.03	-0.11	0.44	0.46
	50% reutilització	-0.16	0.01	0.40	0.43
TRI	100% reutilització	-0.80	-0.06	-0.20	0.88
	50% reutilització	0.12	-0.43	-0.40	0.76
TRI.N	100% reutilització	0.16	0.60	-0.42	0.82
	50% reutilització	-0.10	0.18	-0.07	0.28



Figura 36: Reutilitzacions respecte les referències T4

La Taula 24 ens mostra les $DE_{CMC(2:1)}$ dels teixits tenyits amb l'efluent tractat a una intensitat constant de 10A. Podem observar que totes les tintures, incloses les tricromies, entren dins del límit $DE_{CMC(2:1)} < 1$ establert per Vincolor S.A. A la Figura 36 apreciem la reproductibilitat de les tintures amb l'efluent reutilitzat respecte les referències.

4.1.2.4 $DE_{CMC(2:1)}$ T5:

A la Taula 25 observem les $DE_{CMC(2:1)}$ dels teixits realitzats amb l'efluent tractat a una intensitat constant de 5A. Els valors de $DE_{CMC(2:1)}$ són menors que 1 en tots els casos i per tant aquest efluent tractat també seria apte en nous processos de tintura. La Figura 37 ens permet apreciar la qualitat de les tintures amb l'efluent tractat.

Taula 25: $DE_{CMC(2:1)}$ Referències vs Tintura T5

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	-0.11	0.00	-0.10	0.15
	50% reutilització	-0.63	-0.16	0.74	0.99
RUBINOL	100% reutilització	-0.09	-0.13	0.04	0.16
	50% reutilització	0.48	0.10	-0.25	0.55
BLAU	100% reutilització	0.22	0.05	0.18	0.29
	50% reutilització	0.88	-0.05	-0.38	0.96
TRI	100% reutilització	0.55	0.32	0.59	0.87
	50% reutilització	0.16	0.12	0.28	0.34
TRI.N	100% reutilització	-0.78	-0.39	0.42	0.97
	50% reutilització	0.16	-0.35	-0.23	0.45

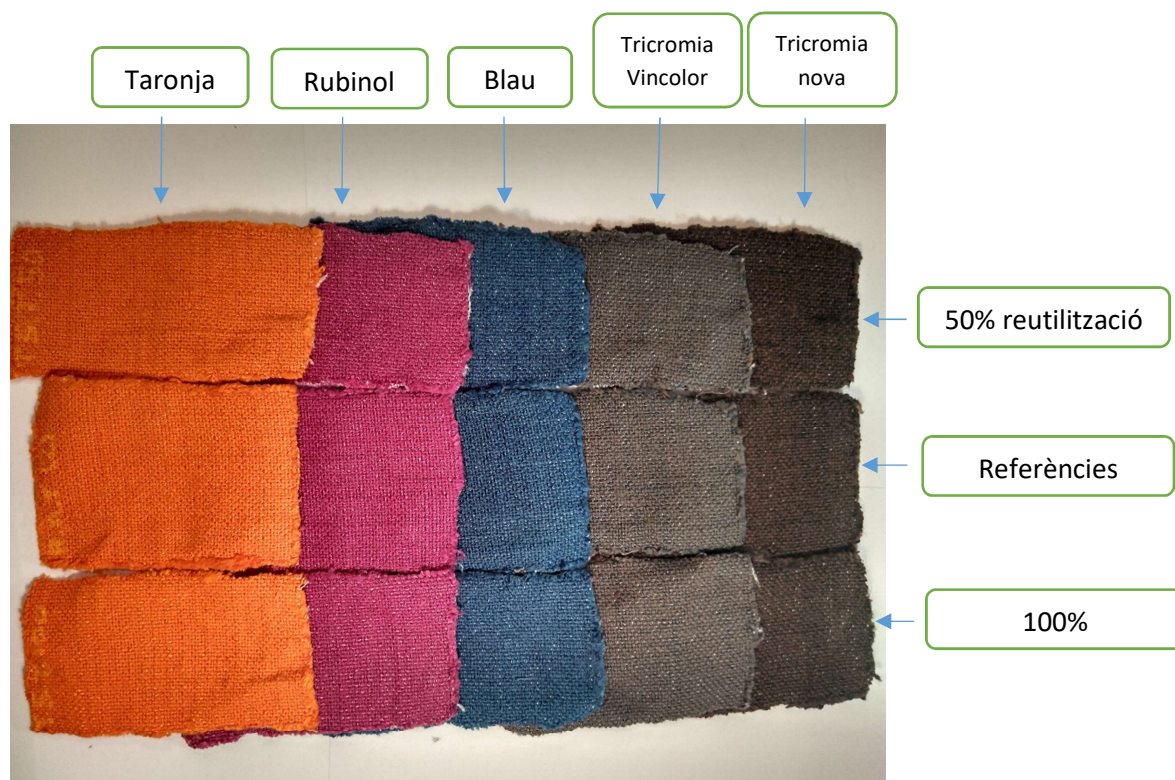
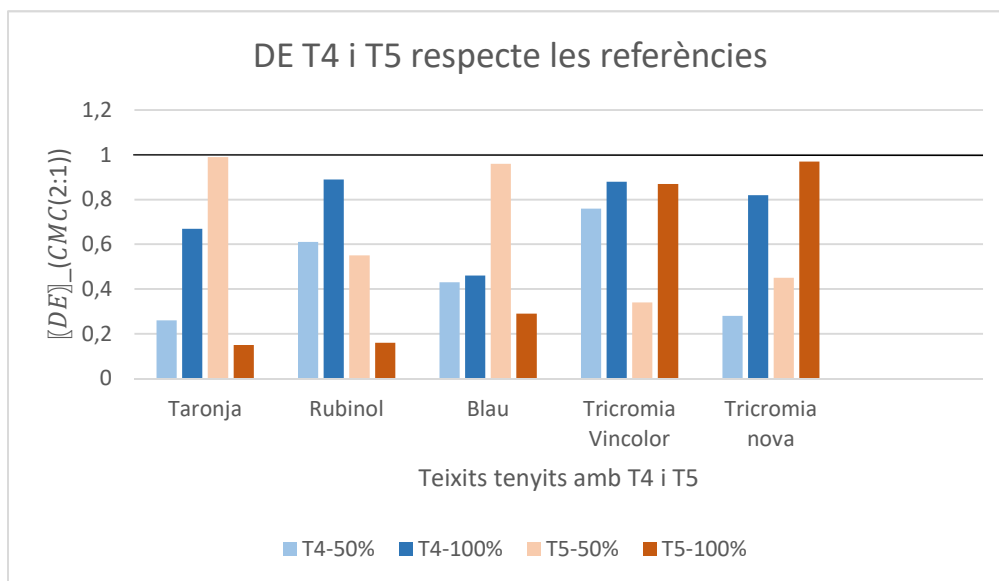


Figura 37: Reutilitzacions respecte les referències T 5

4.1.2.5 $DE_{CMC(2:1)}$ T4 i T5 respecte les referènciesFigura 38: $DE_{CMC(2:1)}$ T4 i T5 respecte les referències

Com es pot observar a la Figura 38, totes les tintures realitzades amb els efluents tractats tenen una $DE_{CMC(2:1)} < 1$ i per tant es pot constatar que aquest tractament seria apte per tal de poder reutilitzar efluents en noves tintures. Tenint en compte que el tractament T5 ha necessitat la meitat de l'energia que el tractament T4 i tot i així les diferències de color són acceptables, el tractament a 5A és millor que el tractament a 10A. A més, s'ha comprovat que el 100% de l'efluent tractat pot ser reutilitzat.

4.2 Efluent 2 (E2)

4.2.1 Caracterització efluent 2

Les concentracions d'aquests en el bany de tintura inicial es mostren a la Taula 16. A les característiques de l'efluent s'indiquen a la Taula 26, hi observem que la conductivitat és de 8mS/cm, el doble que l'efluent 1. Això és degut a que la concentració de sal en el bany inicial de l'efluent 2 és el doble que la de l'efluent 1. Cal destacar la coloració de l'efluent 2 respecte l'efluent 1. L'efluent 2 prové d'un bany de tintura amb més concentració de colorants. A la Figura 39 es mostra l'aspecte de l'efluent 2.

Taula 26: Característiques E2

PARÀMETRES	VALORS
Conductivitat (mS/cm)	8,36
pH	7.15
TOC (mg/L)	155.92
DQO (mgO_2/L)	454,285
Determinació UV visible	λ màxima visible: 512
	Absorbància a λ màxima: 0.211



Figura 39: Efluent 2

4.2.2 Tractaments realitzats amb l'efluent 2 (E2): variació intensitats (2A, 5A i 10A). Influència del temps d'assaig

Amb l'efluent 2 (E2) es van realitzar tres assajos a intensitats i temps diferents (Taula 27).

Taula 27: Assaigs realitzats amb l'efluent 2 (E2)

ASSAIG	TEMPS (min)	INTENSITAT (A)
T6	60	2
T7	45	5
T8	21	10

La Taula 28 ens mostra la degradació de color en funció del temps. És important veure com la major part de la degradació de color es dona en els primers minuts dels tractaments (Figura 40) i a mesura que passa el temps l'eficiència del tractament disminueix molt ràpidament. En el tractament a 2A (T6) s'arriba al 50% de la decoloració abans de 25 minuts, i tant en els tractaments a 5A i 10A (T7 i T8 respectivament) s'arriba al 50% de la decoloració abans dels primers 10 minuts de tractament.

També podem veure com el fet d'augmentar la intensitat al doble no comporta obtenir el doble de decoloració. El tractament a 2A té una decoloració de color un 17,06% més baixa que el tractament realitzat a 10A, tot i que el primer tractament utilitza la cinquena part d'intensitat que el segon.

Taula 28: Degradació de color tractaments E2

DEGRADACIÓ DE COLOR TRACTAMENTS E2						
Intensitat	2A		5A		10A	
temps (min)	absorbància	% degradació color	absorbància	% degradació color	absorbància	% degradació color
0	0.211	0	0.211	0	0.211	0
3	0.178	15.63	0.150	28.90	0.099	53.08
6	0.148	29.85	0.109	48.34	0.076	63.98
9	0.135	36.01	0.097	54.02	0.064	69.66
12	0.125	40.75	0.089	57.81	0.057	72.98
15	0.116	45.02	0.082	61.13	0.053	74.88
18	0.110	47.86	0.074	64.92	0.050	76.30
21	0.108	48.81	0.070	66.82	0.046	78.19
25	0.102	51.65	0.066	68.72	-	
30	0.097	54.02	0.062	70.61	-	
35	0.094	55.45	0.062	70.61	-	
40	0.093	55.9	-		-	
45	0.085	59.71	0.060	71.56	-	
50	0.083	60.66	-		-	
60	0.082	61.13	-		-	
	T6		T7		T8	

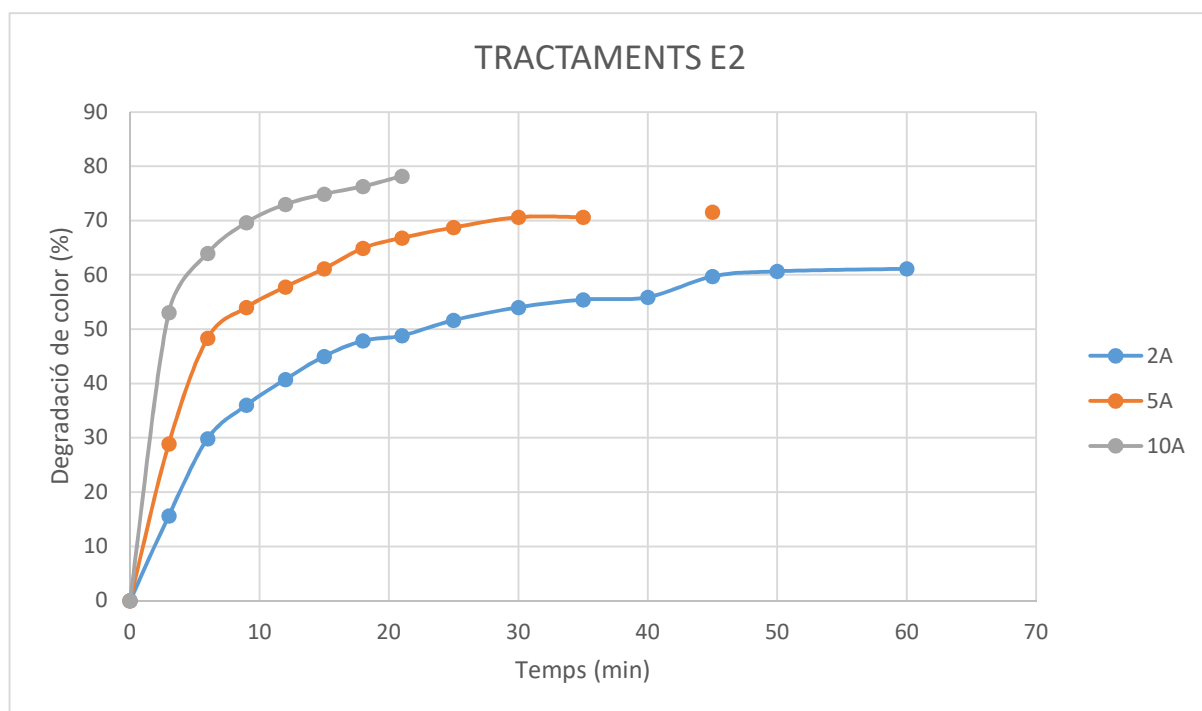


Figura 40: Degradació de color (%) dels tractaments amb l'efluent E2

Com s'ha comentat anteriorment, a la Figura 40 observem que la velocitat de degradació és molt elevada en els primers minuts i es va reduint fins a arribar a un nivell semi-estacionari.

A la Taula 29 observem que la degradació del nivell de TOC és més elevada com més alta és la intensitat del tractament (de menor a major intensitat, 30,57%, 32,88% i 41,03% de degradació de TOC respectivament), igual que per als tractaments amb l'efluent 1 (E1).

Taula 29: Degradació de TOC tractaments E2

DEGRADACIÓ DE TOC TRACTAMENTS E2						
Intensitat	2A		5A		10A	
temps (min)	TOC (mg/L)	% degradació TOC	TOC (mg/L)	% degradació TOC	TOC (mg/L)	% degradació TOC
0	155.92	0	155.92	0	155.92	0
3	144.84	7.10	128.12	17.82	109.48	29.78
6	142.64	8.51	116	25.60	105.82	32.13
9	141.14	9.47	115.5	25.92	103.18	33.82
12	140.98	9.58	112.2	28.04	100.38	35.62
15	140.36	9.97	110.88	28.88	98.54	36.80
18	138.12	11.4	110.36	29.22	96.94	37.82
21	135.88	12.85	109.18	29.97	91.94	41.03
25	133.74	14.22	106.62	31.61	-	-
30	129.22	17.12	106.54	31.67	-	-
35	124.6	20.08	104.78	32.79	-	-
40	118.32	24.11	-	-	-	-
45	113.96	26.91	104.64	32.88	-	-
50	110.4	29.19	-	-	-	-
60	108.24	30.57	-	-	-	-
	T6		T7		T8	

4.2.2.1 Característiques T6, T7 i T8

En la Taula 30 trobem les característiques de les aigües després del tractament. Observem com la degradació tant del TOC, la DQO i com hem vist anteriorment, del color, és proporcional a la intensitat del tractament. A major intensitat durant el tractament, major degradació de color, DQO i TOC.

Taula 30: Característiques T6, T7 i T8

PARÀMETRES	Tractament 2A (T6)	Tractament 5A (T7)	Tractament 10A (T8)
Conductivitat (mS/cm)	8.84	10.90	10.90
pH	8.20	7.12	7.12
TOC(mg/L)	108.24	104,64	91.94
DQO (mgO_2/L)	363.42	258.33	208.8
Clor (ppm)	2.9	4.1	4.3

4.2.2.2 Realització tintures amb aigua reutilitzada de T6, T7 i T8

Es realitzen tintures reutilitzant el 50% i el 100% de cada una de les aigües seguint la metodologia de tintura especificada a l'apartat de materials i mètodes. Com s'ha mostrat en la taula anterior, s'ha calculat el percentatge de clorurs en l'efluent tractat per quantificar l'estalvi d'aquests en la reutilització de l'efluent tractat per nous processos de tintura (38.96% per T6, 39.91% per T7 i 40.05% per T8).

4.2.2.3 $DE_{CMC(2:1)}$ T6

Observem com totes les $DE_{CMC(2:1)}$ dels teixits tenyits amb aigua tractada respecte les referències són menors que 1 per a tots els casos (Taula 31), tant amb el 50% de reutilització de l'efluent com amb el 100%.

Taula 31: $DE_{CMC(2:1)}$ entre les referències i T6

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	0.02	0.05	0.70	0.71
	50% reutilització	-0.31	0.05	0.34	0.46
RUBINOL	100% reutilització	-0.70	-0.29	0.29	0.81
	50% reutilització	-0.73	-0.40	0.50	0.97
BLAU	100% reutilització	0.48	-0.22	-0.26	0.58
	50% reutilització	-0.19	0.21	0.39	0.49
TRI	100% reutilització	-0.81	-0.08	-0.13	0.83
	50% reutilització	-0.33	-0.36	-0.52	0.64
TRI.N	100% reutilització	0.53	0.26	-0.75	0.95
	50% reutilització	-0.51	0.68		

A la Figura 41 observem els teixits tenyits amb l'efluent 2 (E2) tractat a 2A i les referències.

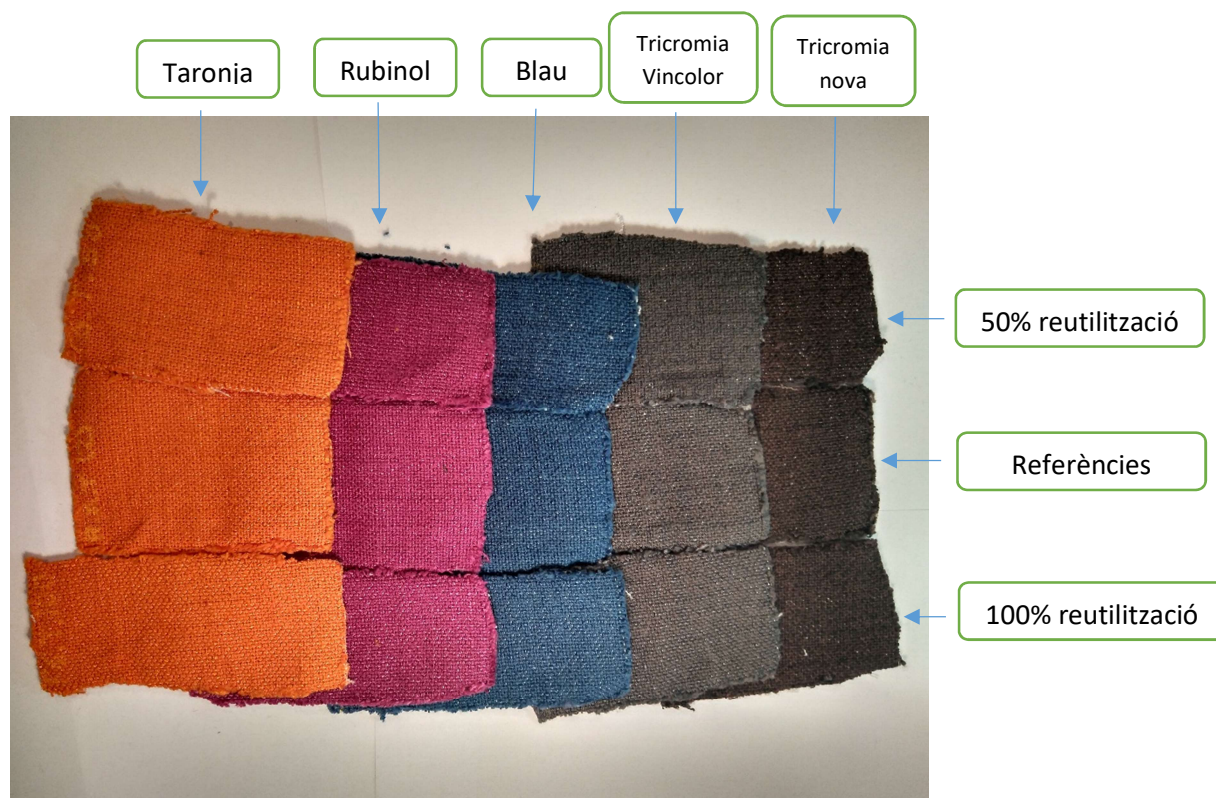


Figura 41: Tintures respecte referències T6

4.2.2.4 $DE_{CMC(2:1)}$ T7

En el cas del tractament a intensitat constant de 5A i durant un temps de 45 minuts, totes les $DE_{CMC(2:1)}$ són menors a 1 (Taula 32), ja sigui amb un 50% o 100% de reutilització de l'efluent. A la Figura 42 trobem la comparativa entre els teixits tenyits amb l'aigua reutilitzada T7 i les referències.

Taula 32: $DE_{CMC(2:1)}$ entre les referències i T7

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	-0.02	-0.01	0.57	0.57
	50% reutilització	-0.32	0.04	0.63	0.70
RUBINOL	100% reutilització	-0.57	0.21	0.08	0.61
	50% reutilització	-0.34	0.21	0.32	0.51
BLAU	100% reutilització	-0.34	0.47	0.62	0.85
	50% reutilització	-0.50	0.21	0.31	0.62
TRI	100% reutilització	-0.24	0.24	0.10	0.36
	50% reutilització	-0.38	-0.19	-0.33	0.54
TRI.N	100% reutilització	-0.56	0.59	0.31	0.87
	50% reutilització	-0.51	0.68	0.14	0.87

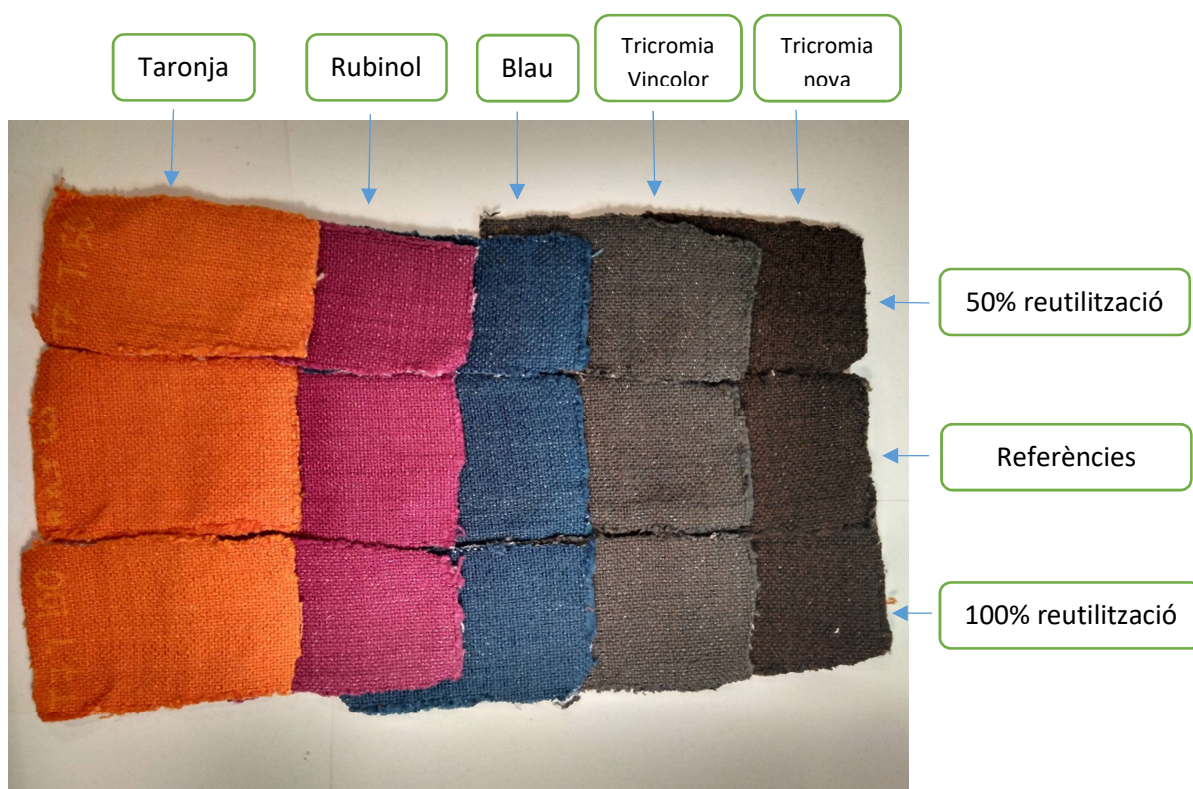


Figura 42: Tintures respecte referències T7

4.2.2.5 $DE_{CMC(2:1)}$ T8

El tractament a intensitat constant de 10A i durant 21 minuts també proporciona una aigua reutilitzable per a tintures tant amb el 50% com amb el 100% d'aquesta. La Taula 33 ens mostra que totes les $DE_{CMC(2:1)}$ són menors a 1 i la Figura 43 ens mostra la comparativa entre els teixits tenyits amb l'aigua tractada T8 i les referències.

Taula 33: $DE_{CMC(2:1)}$ entre les referències i T8

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	0.05	-0.53	0.26	0.59
	50% reutilització	0.02	-0.43	0.12	0.45
RUBINOL	100% reutilització	-0.689	-0.05	0.19	0.71
	50% reutilització	-0.33	-0.57	-0.06	0.66
BLAU	100% reutilització	-0.35	-0.19	0.21	0.45
	50% reutilització	-0.22	0.27	0.51	0.62
TRI	100% reutilització	-0.39	0.17	-0.25	0.49
	50% reutilització	-0.13	-0.41	-0.59	0.72
TRI.N	100% reutilització	0.17	0.58	-0.39	0.72
	50% reutilització	-0.08	0.11	-0.05	0.15

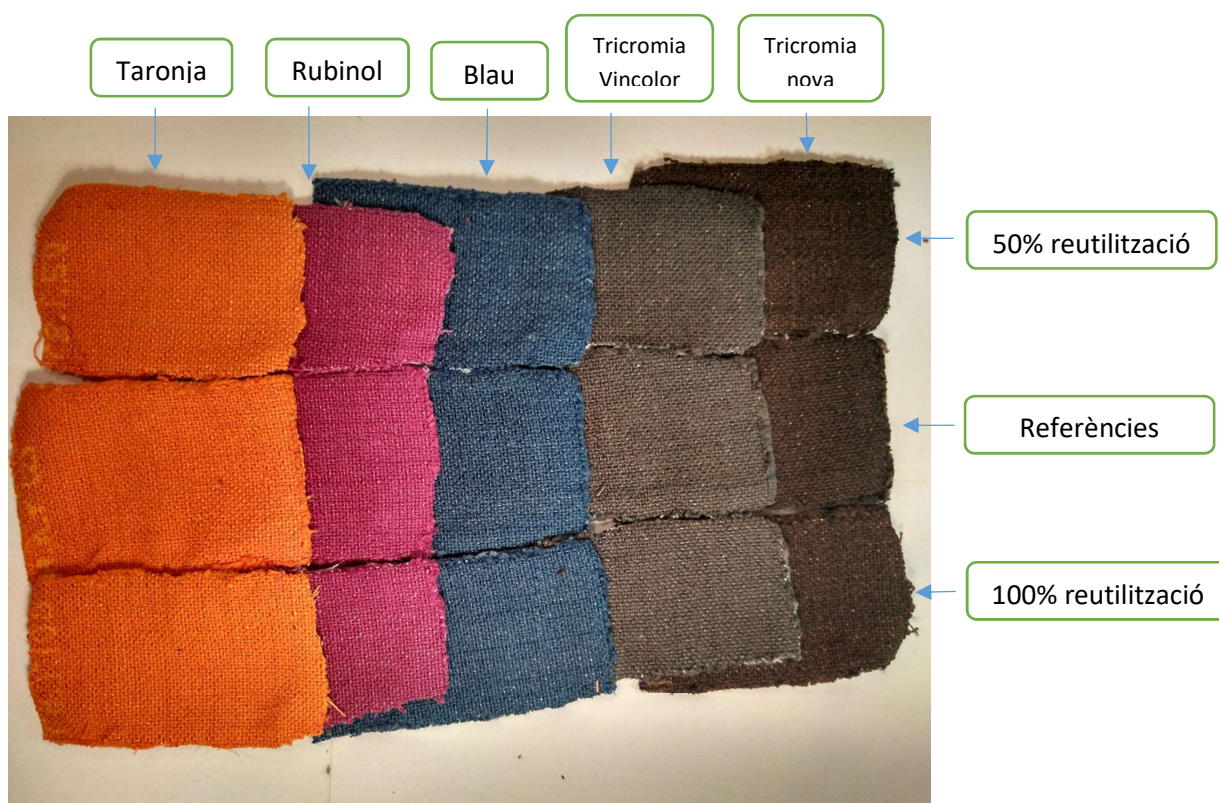


Figura 43: Tintures respecte referències T8

4.2.2.6 $DE_{CMC(2:1)}$ T6, T7 i T8 respecte les referències

Per a tots els tractaments les diferències de color són acceptables (Figura 44), per tant, el tractament més adient és el que necessita menys energia per degradar el colorant, és el cas del tractament a intensitat constant de 2A (T6). No obstant, aquest tractament ha durat una hora, s'hauria de buscar la relació temps de tractament-consum energètic òptima.

Igual que en els tractaments realitzats amb l'efluent 1 (E1), les tintures realitzades amb el 100% d'aigua reutilitzada tenen una $DE_{CMC(2:1)} < 1$, representant el doble d'estalvi d'aigua respecte les tintures realitzades amb el 50% d'aigua reutilitzada.

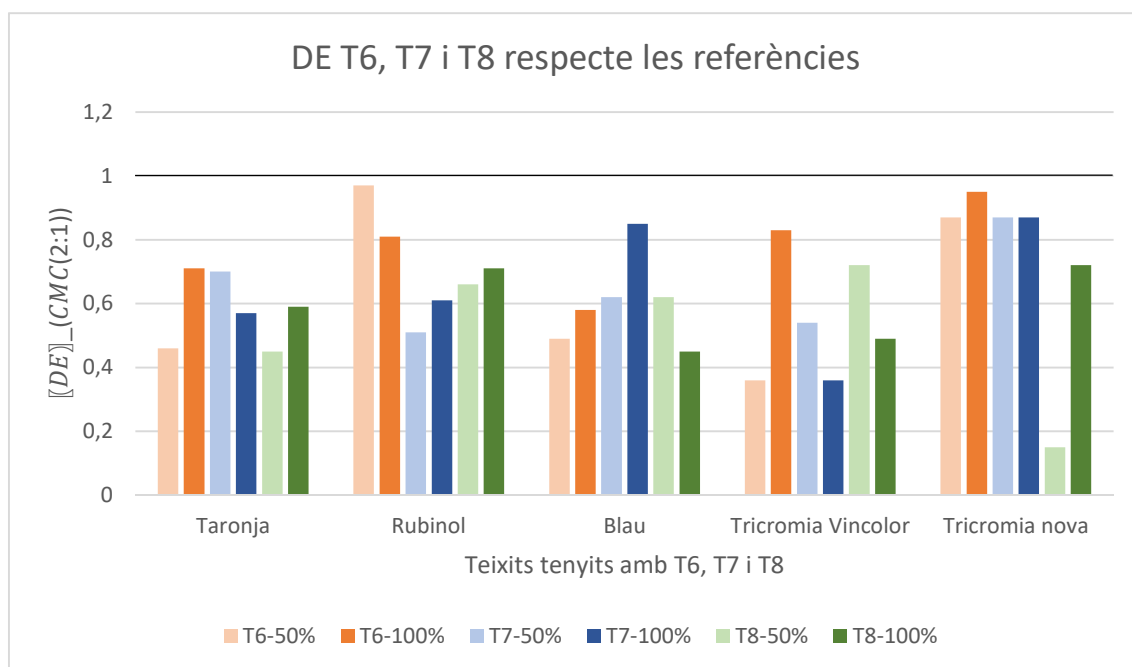


Figura 44: $DE_{CMC(2:1)}$ T6, T7 i T8 respecte les referències

4.3 Comparació entre E1 i E2

Per comprendre millor els resultats obtinguts en els diferents tractaments electroquímics és important comparar les principals característiques dels efluents utilitzats. Com s'ha comentat anteriorment, el nivell de conductivitat de l'efluent 1 és quasi la meitat de l'efluent 2, i un tractament electroquímic és més efectiu com més conductivitat tingui el bany. Aquesta diferència és notable entre els tractaments T4 i T8. Tot i que els dos tractaments es van portar a terme a 10A, T8 obté un 6.61% més de decoloració (Figura 45).

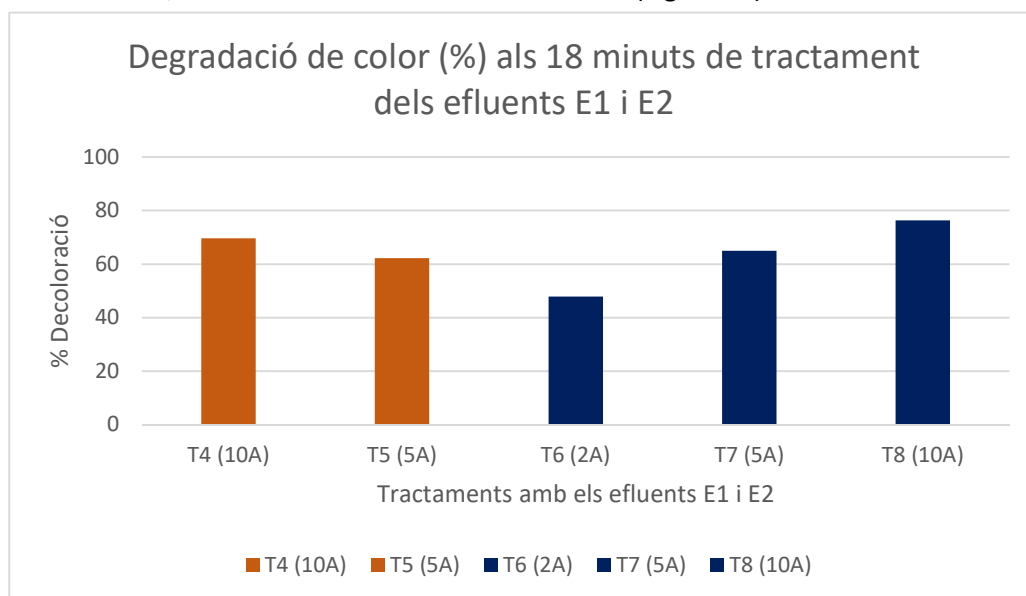


Figura 45: Degradació de color (%) tractaments dels efluents E1 i E2

4.3.1 Reutilització del 50% de l'efluent tractat

En relació a la reutilitzacions dels fluents, observem a la Figura 46 que independentment de l'efluent totes les diferències de color ($DE_{CMC(2:1)}$) eren menors a 1 quan es va reutilitzar el 50% de l'efluent tractat.

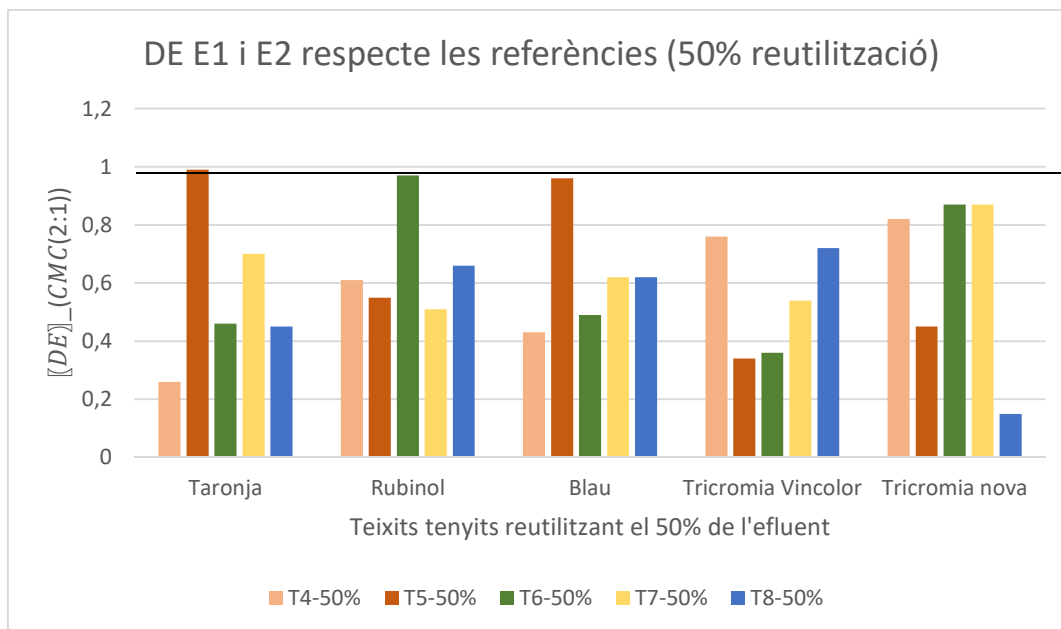


Figura 46: $[DE]_{CMC(2:1)}$ E1 i E2 respecte les referències (50% reutilització)

4.3.2 Reutilització del 100% de l'efluent tractat

A la Figura 47 hi observem les $DE_{CMC(2:1)}$ de les tintures realitzades aprofitant el 100% de l'aigua tractada. Per tant, per a tots els colorants i les tricromies seleccionades per aquest estudi, es pot reutilitzar fins al 100% de l'aigua.

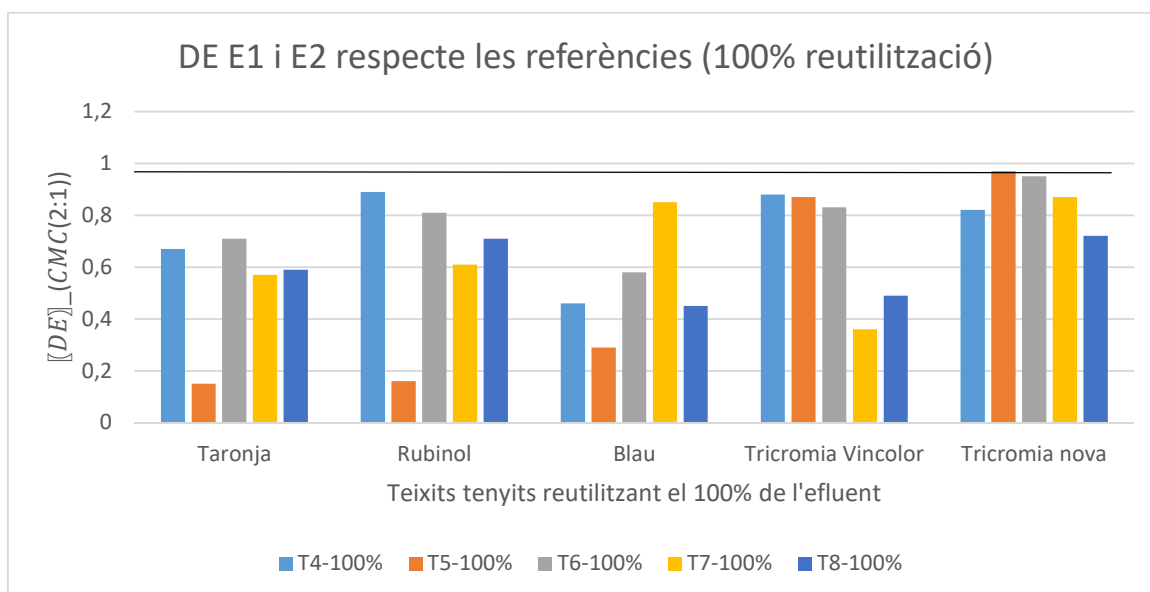


Figura 47: $[DE]_{CMC(2:1)}$ E1 i E2 respecte les referències (100% reutilització)

5. RESULTATS COLORANTS DIRECTES + COLORANTS DISPERSOS

5.1 Efluent 3 (E3): tractament electroquímic

5.1.1 Caracterització de l'efluent 3

El tercer efluent utilitzat en aquest projecte conté colorants directes i colorants dispersos en el mateix bany (concentracions especificades a la Taula 17). Les característiques d'aquest efluent es mostren a la Taula 34. Observem com el valor de la conductivitat és més del doble que el valor de conductivitat de l'efluent 1 i més alt que el de l'efluent 2. Això pot ser degut a l'alta concentració de sal del bany inicial de tintura de l'efluent 3 (36g/L). A la Figura 48 observem la coloració de l'efluent 3.

Taula 34: Característiques E3

PARÀMETRES	VALORS
Conductivitat (mS/cm)	13,81
pH	6,43
TOC (mg/L)	663,8
DQO (mgO_2/L)	1922,5
Determinació UV visible	λ màxima visible: 534
	Absorbància a λ màxima: 0,986

Observem que tant els valors de TOC com DQO són notablement més alts que pels efluent 1 i 2. Això és degut a l'alta concentració de colorants en el bany de tintura inicial i per tant alta càrrega orgànica.



Figura 48: Efluent 3

5.1.2 Tractaments realitzats amb l'efluent 3 (E3): variació de temps

Primer es va fer un tractament electroquímic a aquest tipus d'efluent amb els dos colorants.

Amb aquest efluent es van fer tres tractaments (T1, T2 i T3) a màxima intensitat (10A) i durant temps variables, tal i com es mostra a la Taula 35 per tal de poder observar la influència de la intensitat per diferents temps d'assaig.

Taula 35: Tractaments E3

TRACTAMENT	INTENSITAT (A)	TEMPS (min)
T1	10	20
T2	10	30
T3	10	60

La Taula 36 mostra la degradació de color dels tractaments amb l'efluent E3. Observem com els valors de decoloració són més elevats que pels tractaments realitzats amb els efluent 1 i 2 (decoloracions entre un 74.94% i un 86.2%). Aquests tractaments tots realitzats a la mateixa intensitat constant (10A) ens demostren que un allargament del temps d'assaig no ha comportat un increment considerable de la decoloració, ja que entre el tractament T1 i T3 només hi ha un 11.26% més de decoloració i 40 minuts més de tractament per part de T3.

Taula 36: Degradació de color tractaments E3

DEGRADACIÓ DE COLOR TRACTAMENTS E3						
Intensitat	10 ^a		10A		10A	
temps (min)	absorbància	% degradació de color	absorbància	% degradació de color	absorbància	% degradació de color
0	0.986	0	0.986	0	0.986	0
3	0,65	34.07	0,642	34.88	0.708	28.19
6	0,51	48.27	0,447	54.66	0.523	46.95
9	0,423	57.09	0,342	65.31	0.393	60.14
12	0,364	63.08	0,305	69.06	0.344	65.11
15	0,316	67.92	0,278	71.87	0.301	69.47
17	0,27	72.65	0,252	74.44	-	-
20	0,247	74.94	0,247	74.94	0.280	71.60
25	-	-	0,203	79.41	0.245	75.15
27			0,180	81.74	-	-
30	-	-	0,170	82.75	0.223	77.38
35	-	-	-	-	0.197	80.02
40	-	-	-	-	0.163	83.46
50	-	-	-	-	0.144	85.39
60	-	-	-	-	0.136	86.2
	T1		T2		T3	

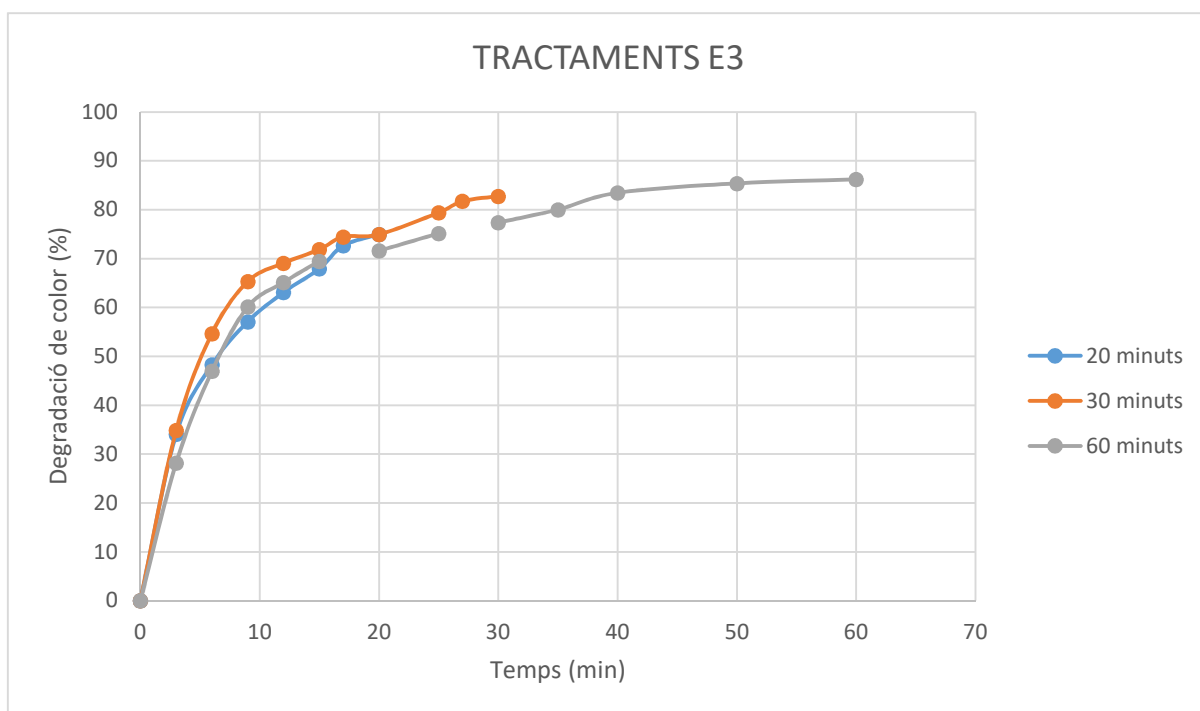


Figura 49: Degradació de color (%) dels tractaments amb l'efluent E3

A la Figura 49 hi observem la degradació de color (%) respecte el temps d'assaig. Es pot observar com efectivament una major durada del tractament no ha comportat un augment significatiu de la degradació de color. Una mostra d'això és la poca diferència de degradació de color (3,45% entre el tractament T2 i el tractament T3) entre el tractament durant 30 minuts (T2) i el tractament durant 60 minuts (T3).

5.1.2.1 Característiques T1, T2 i T3

La Taula 37 ens mostra les característiques de les diferents aigües després de cada tractament. Els nivells de TOC i DQO es mantenen quasi constants.

Taula 37: Característiques T1, T2 i T3

PARÀMETRES	Tractament 20 min (T1)	Tractament 30 min (T2)	Tractament 60 min (T3)
Conductivitat (mS/cm)	22,8	22,5	13,92
pH	4,11	3,66	5,48
TOC (mg/L)	603	602	484
DQO (mgO_2/L)	1887	1845	1771
Clor (ppm)	1	0.6	1.2

5.1.2.2 Realització de tintures amb aigua reutilitzada T1, T2 i T3

Igual que per la realització de tintures dels tractaments anteriors, un cop eliminat el clor format durant el tractament, calculats l'estalvi de clorurs per al següent procés de tintura (53.83% per T1, 55.41% per T2 i 57.6% per T3) i regulat el pH, disposem a realitzar tintures amb l'efluent tractat segons la metodologia de tintura estipulada a l'apartat de materials i mètodes. Cal destacar que l'estalvi de clorurs per aquest efluent ha estat més elevat que pels tractaments amb l'efluent 1 i l'efluent 2. Això segurament és degut a l'alta salinitat del bany inicial de tintura de l'efluent 3.

En aquest cas es fan tintures utilitzant únicament el 100% de l'efluent tractat per a la realització del bany de tintura.

5.1.2.3 $DE_{CMC(2:1)}$ T1

A la Taula 38 s'observa que totes les tintures realitzades amb l'efluent tractat durant 20 minuts a intensitat màxima tenen una $DE_{CMC(2:1)} > 1$ per a tots els casos i per tant, no seria apte per fer noves tintures.

Taula 38: $\langle DE \rangle_{CMC(2:1)}$ T1

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	-2.14	-2.25	-0.89	3.23
RUBINOL	100% reutilització	-0.24	-1.35	3.28	3.56
BLAU	100% reutilització	-0.23	-2.82	-3.02	4.14
TRI	100% reutilització	-0.23	1.66	2.99	3.43
TRI.N	100% reutilització	0.02	2.72	0.10	2.72

5.1.2.4 $DE_{CMC(2:1)}$ T2

A la Taula 39 es mostren les $DE_{CMC(2:1)}$ de les tintures realitzades amb l'efluent tractat durant 30 minuts a intensitat màxima, (10A) i s'observa que, igual que pel tractament anterior, les $DE_{CMC(2:1)}$ són per a tots els casos superiors a 1.

Taula 39: $\langle DE \rangle_{CMC(2:1)}$ T2

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	-1.78	-2.42	-0.60	3.07
RUBINOL	100% reutilització	-0.20	-1.48	2.67	3.06
BLAU	100% reutilització	0.54	-2.53	-2.88	3.72
TRI	100% reutilització	2,07	5,83	-0,15	5,73
TRI.N	100% reutilització	2,57	4,42	0,14	5,02

5.1.2.5 $DE_{CMC(2:1)}$ T3

A la Taula 40 hi observem les $DE_{CMC(2:1)}$ de les tintures realitzades amb l'efluent tractat durant 60 minuts a intensitat màxima (10A). Aquest cop les $DE_{CMC(2:1)}$ són més baixes i fins i tot en el cas dels teixits tenyits amb rubinol i blau individualment, les $DE_{CMC(2:1)}$ són menors a 1. No obstant, les $DE_{CMC(2:1)}$ que observem en les tricromies ens indiquen que aquest efluent tractat no és apte per a la seva reutilització en noves tintures.

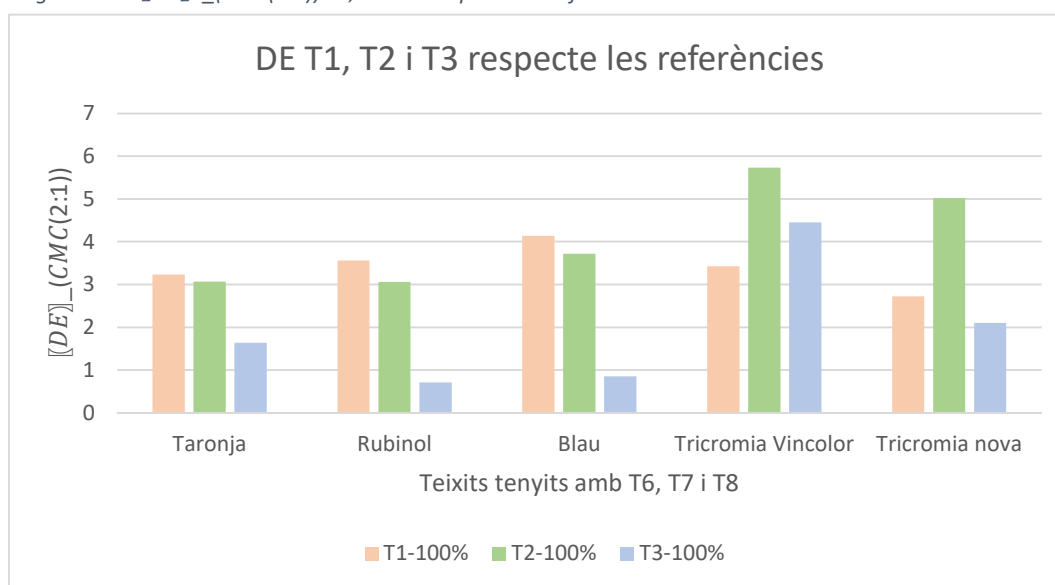
Taula 40: $\llbracket DE \rrbracket_{CMC(2:1)}$ T3

	% Reutilització	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	100% reutilització	-0.68	-1.47	0.27	1.64
RUBINOL	100% reutilització	-0.32	-0.47	0.42	0.71
BLAU	100% reutilització	0.48	-0.45	-0.54	0.85
TRI	100% reutilització	-3.57	1.29	2.32	4.45
TRI.N	100% reutilització	0.07	1.19	-1.72	2.10

5.1.2.6 $DE_{CMC(2:1)}$ T1, T2 i T3

La Figura 50 mostra les diferents $DE_{CMC(2:1)}$ per cada colorant i tricromia. Es pot apreciar com els tractaments T1 i T2 proporcionen resultats similars, i els valors del tractament de 60 minuts són majoritàriament més baixos que per als dos tractaments anteriors.

Aquestes $DE_{CMC(2:1)}$ són per a la gran majoria de casos superiors a 1 com a conseqüència de la resta de colorant residual en l'efluent tractat. Això segurament és degut a que el bany inicial de tintura de l'efluent 3 (E3) conté colorants directes i colorants dispersos en el mateix bany, i aquests últims podrien no haver-se degradat durant el tractament electroquímic.

Figura 50: $\llbracket DE \rrbracket_{CMC(2:1)}$ T1, T2 i T3 respecte les referències

5.2 Efluent 4 (E4): tractament de membranes

5.2.1 Caracterització de l'efluent 4 (E4)

Les concentracions de colorants i sal han estat especificades anteriorment a l'apartat de Materials i Mètodes. Igual que l'efluent 3 (E3) el bany inicial de tintura era una barreja de colorants directes i dispersos. A la Figura 51 es mostra l'aspecte de l'efluent 4 i a la Taula 41 es mostren les seves característiques.

Taula 41: Caracterització E4

PARÀMETRES	VALORS
Conductivitat (mS/cm)	5.60
pH	5.20
TOC (mg/L)	1246
DQO (mgO_2/L)	3339.85
Determinació UV visible	λ màxima visible: 462
	Absorbància a λ màxima: 7.6



Figura 51: Efluent 4

5.2.2 Tractament realitzat amb l'efluent 4 (E4): membrana d'ultrafiltració

Es va realitzar un assaig en la planta pilot amb l'Efluent 4, obtenint una degradació de color del 97.23%. No obstant, l'efluent tractat encara està molt colorat (Figura 52) i caldria veure si amb un tractament electroquímic posterior aquest nivell de color es reduiria i l'efluent seria apte per la realització de tintures noves.

A la Taula 42 observem com els nivells de DQO i TOC han disminuït després del tractament amb la membrana d'ultrafiltració.

Taula 42: Característiques efluent tractat

	TOC (mg/L)	DQO (mgO_2/L)
% degradació	54.77	37.19

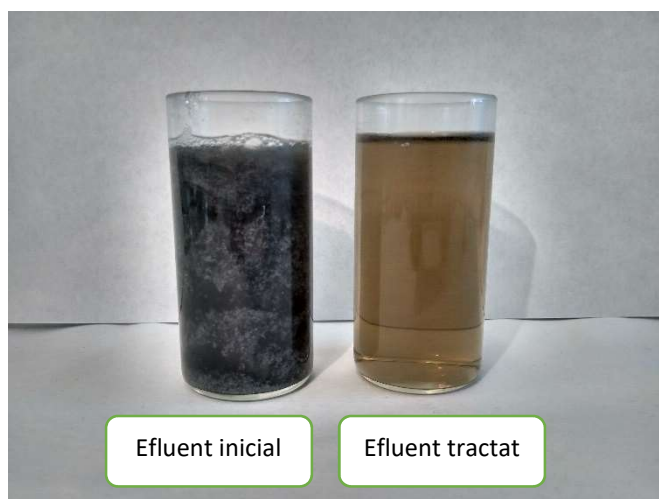


Figura 52: Efluent inicial vs Efluent passat per membrana UF

Per qüestió de temps no s'ha pogut provar de fer tintures amb aquest efluent tractat però és possible que, sense aplicar-hi el tractament electroquímic esmentat anteriorment, es pugui aprofitar el 50% o 100% de l'efluent per noves tintures.

5.3 Comparació entre E3 i E4

A la Figura 53 hi observem els diferents valors de degradació de color per als diferents tractaments realitzats als efluent 3 i 4. Observem com el tractament que més decoloració ha aconseguit és la membrana d'ultrafiltració (97.23%).

Com s'ha comentat anteriorment, s'hauria d'estudiar si realitzar primer un tractament de membrana per eliminar els colorants dispersos i després un tractament electroquímic per eliminar els colorants directes seria encara més efectiu.

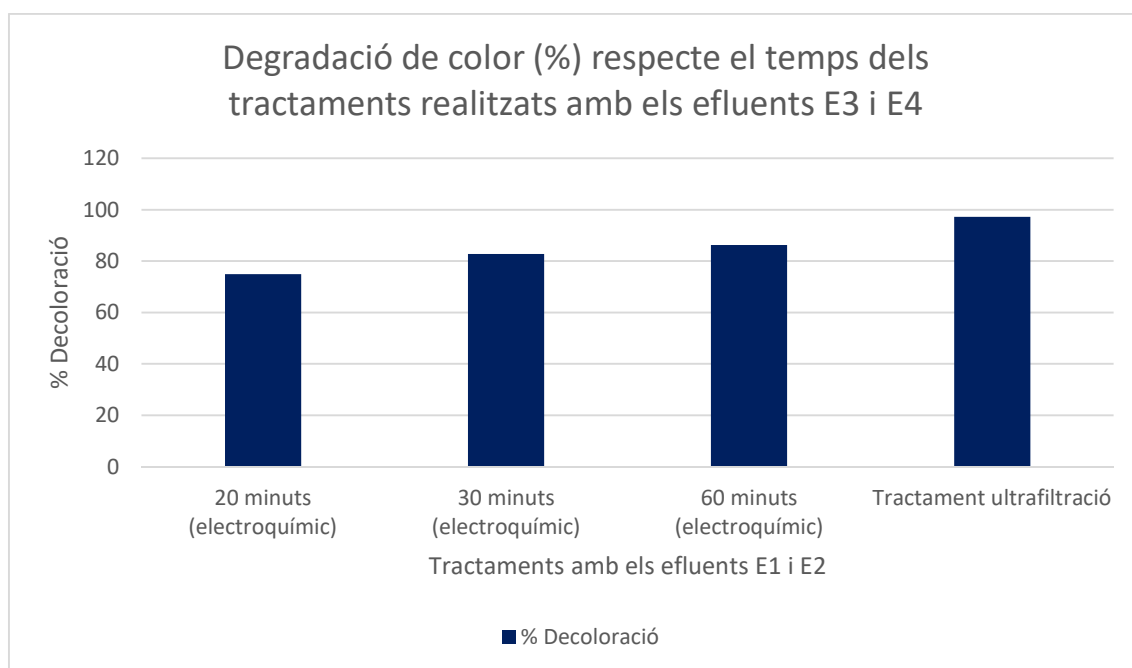


Figura 53: Degradació de color (%) tractaments d'E3 i E

6. ANÀLISI ECONÒMICA

Un cop acabats tots els assajos i havent vist els seu resultats, s'ha fet una anàlisi econòmica per tal de determinar la viabilitat econòmica del tractament electroquímic. Per poder fer els càlculs es parteix d'aquestes dades:

- Vincolor S.A. va gastar 14.580 m³ d'aigua per a processos de tintura l'any 2017
- Cost aigua: 1,176€/m³
- Cost sal: 0,036€/kg
- 220 dies laborables a l'any
- Taula 43 amb relacions de volum de bany de tintura-metres de teixits tenyits per a tintures amb colorants directes:

Taula 43: Informació volum (L)-metres teixits tenyits (m)

	TINTURA 1	TINTURA 2	TINTURA 3	TINTURA 4
Volum (L)	2528	1400	3782	1275
Metres de teixit (m)	422.5	232	628.5	212

- Taula 44 amb dades abocaments aigües residuals 2017 Vincolor S.A:

Taula 44: dades abocaments aigües residuals 2017

TRIMESTRE (2017)	Volum (m3)	Cost abocament (€)
1	3253	2686.60
2	3918	3284.07
3	3054	2559.87
4	3863	3237.97
TOTAL	14088	11768.51

Cost del m³ de l'abocament d'aigua residual (€/m³) = $\frac{11768,51}{14088} = 0.835\text{€/m}^3$

Cost total de l'aigua residual (€/m³): 0.835€ + 1,176€ = **2,011€/m³**

6.3 Càlcul estalvi (per 1000 metres de teixit)

Mitjançant la Taula 43 amb les relacions volum de bany de tintura-metres de teixits tenyits, podem obtenir una mitjana de quants litres es necessiten per tenyir cada 1.000 metres:

$$\text{Mitjana(Volum/metres de teixit tenyits)} = 6,01025 \text{ m}^3 / 1.000\text{m de teixit}$$

Tenint en compte que el cost total de cada m³ d'aigua residual és de 2,011€/m³:

$$\text{Estalvi} = 6,01025 \text{ m}^3 / 1000\text{m de teixit} \cdot 2,011\text{€/m}^3 = \underline{\underline{12,086\text{€/1.000m de teixit}}}$$

6.4 Càlcul tenint en compte % producció tintures amb colorants directes

Es procedeix a calcular el % d'aigua utilitzada en processos de tintures amb colorants directes, la qual com s'ha demostrat en aquest projecte, podrà ser reutilitzada al 100% per noves tintures.

6.4.1 Càlcul amb les dades del 2017

El 2017 la empresa Vincolor tenia un 8% de la producció total amb colorants directes, efluents sobre els quals s'hi pot realitzar el tractament electroquímic.

Per tant, el 8% dels 14580m³ d'aigua utilitzats al 2017 eren per tintures amb colorants directes:

$$8\% \text{ de } 14580\text{m}^3 = 1166.4\text{m}^3$$

Vincolor S.A. realitza tintures amb tonalitats clares, mitjanes i fosques. En aquest projecte només s'han tractat efluents de les dues últimes, per tant, es considera que d'aquesta aigua utilitzada en tintures amb colorants directes, 2/3 d'aquesta podran ser reutilitzades al 100% en nous processos de tintura, tal i com s'ha estudiat en aquest projecte.

$$2/3 \text{ de } 1166.4 \text{ m}^3 = 777.6\text{m}^3$$

Tenint en compte que el cost total de cada m³ d'aigua residual és de 2,011€/m³:

$$\text{Estalvi} = 777.6\text{m}^3 \cdot 2,011\text{€/m}^3 = \underline{\underline{1563,75\text{€/anuals}}}$$

6.4.1.1 Estalvi de sal

Com s'ha comentat anteriorment, durant el projecte s'ha calculat el percentatge de sal residual en l'efluent després del tractament electroquímic i que és aprofitable per nous processos de tintura. A la Taula 45 es mostren diferents valors d'estalvi de sal aconseguits en aquest projecte i l'estalvi econòmic que comportarien. S'estableix que tots els processos de tintura amb colorants directes contenen una concentració mitjana de sal de 18g/L.

Taula 45: Estalvi de sal dades 2017

Estalvi de sal (%)	Estalvi econòmic (€/any)
17.5	88.17
38.96	196.31
55	277.13

6.4.2 Càlcul amb les dades del futur

Anteriorment s'ha fet l'estudi amb les dades actuals. No obstant això, Vincolor S.A. té la intenció d'augmentar la producció de tintures amb colorants directes fins a un 25%. Es manté el valor de 14580m^3 anuals utilitzats en totes les tintures de Vincolor S.A.

Per tant, el 25% dels 14580m^3 d'aigua utilitzats al 2017 era per a tintures amb colorants directes:

$$25\% \text{ de } 14580 = 3645 \text{ m}^3$$

Vincolor S.A. fa tintures amb tonalitats clares, mitjanes i fosques. En aquest projecte només s'han tractat efluents de les dues últimes tonalitats, per tant, es considera que d'aquesta aigua utilitzada en tintures amb colorants directes, 2/3 d'aquesta podran ser reutilitzades al 100% en nous processos de tintura, tal i com s'ha estudiat en aquest projecte.

$$2/3 \text{ de } 1166.4 \text{ m}^3 = 2430 \text{ m}^3$$

Tenint en compte que el cost total de cada m^3 d'aigua residual és de $2,011\text{€/m}^3$:

$$\text{Estalvi} = 2430 \text{ m}^3 \cdot 2,011\text{€/m}^3 = \mathbf{4886.73 \text{ €/anuals}}$$

6.4.2.1 Estalvi de sal

Com s'ha comentat anteriorment, durant el projecte s'ha calculat el percentatge de sal residual en l'efluent després del tractament electroquímic i que és aprofitable per nous processos de tintura. A la Taula 46 es mostren diferents valors d'estalvi de sal aconseguits en aquest projecte i l'estalvi econòmic que comportarien. S'estableix que tots els processos de tintura amb colorants directes contenen una concentració de sal de 18g/L.

Taula 46: Estalvi sal dades futur

Estalvi de sal (%)	Estalvi econòmic (€/any)
17.5	413.343
38.96	920.219
55	1299.078

6.3 Reactor electroquímic necessari

Tenint en compte l'abocament de Vincolor S.A., es requereix un reactor electroquímic que pugui tractar uns 3,5 m^3 /dia per tractar els m^3 calculats amb les dades del 2017 (777,6 m^3) i amb les dades del futur (2430 m^3).

Per tant, necessitem un reactor que tracti 3,5 m^3 /dia (dades 2017) i 11 m^3 /dia (dades futur).

Es calcula que un reactor electroquímic amb aquestes característiques pot costar 12.000€

7. CONCLUSIONS

En aquest projecte s'han estudiat els processos electroquímics i de membrana en la decoloració per efluents de tintures tèxtils i la possibilitat d'una posterior reutilització en nous processos de tintura.

Els efluents que contenen colorants directes (E1 i E2) es van tractar en un reactor electroquímic a diferents intensitats. En tots els casos es va obtenir una decoloració superior al 60%. S'ha comprovat que a major intensitat de tractament s'obté una major decoloració, però aquest augment no és proporcional. A més, s'ha observat com la major part de la decoloració dels efluents en el reactor electroquímic es dona en els primers minuts de l'assaig i després la decoloració arriba a un nivell semi-estacionari. Tant el 50% com el 100% de l'efluent tractat es van reutilitzar en noves tintures. Tant les monocromies com les tricromies van presentar per a tots el casos estudiats unes diferències de color respecte a les tintures de referència inferiors a 1, el màxim acceptat per la indústria. La reutilització dels efluents ha permès també la reutilització entre el 17,5% i el 57,6% de la sal.

D'altra banda, l'efluent amb colorants directes i dispersos, tractat amb mètodes electroquímics, va mostrar una decoloració entre el 74,94% i 86,20%. L'estudi de reutilització va determinar que aquest efluent no era idoni per a la reutilització en nous processos de tintura ja que les diferències de color són superiors a 1. Tenint en compte els resultats, es va decidir tractar l'efluent amb membranes d'ultrafiltració, obtenint-se una disminució del color del 97,23%.

Finalment, l'avaluació econòmica ha permès demostrar la viabilitat de l'ús dels processos electroquímics per al tractament i reutilització, ja que proporciona un estalvi d'uns 1.700€ a l'any amb les dades actuals i un estalvi d'uns 5.000€ a l'any amb l'increment de producció futur. Cal destacar tant l'estalvi econòmic com mediambiental de la reutilització de la sal residual per a nous processos de tintura.

8. FUTURS ESTUDIS

Tot i els bons resultats obtinguts en aquest projecte, caldria continuar-lo per tal de poder estudiar amb més profunditat:

- Per a l'assaig amb el reactor electroquímic, quina intensitat constant i per quin temps d'assaig s'aconsegueix un efluent amb una decoloració suficient com per reutilitzar-lo en nous processos de tintura
- Per a l'assaig amb la membrana d'ultrafiltració, cal comprovar si l'efluent resultant ja és apte per la seva reutilització en nous processos de tintura i en quin percentatge. També caldria estudiar la possibilitat d'incloure un tractament electroquímic després del tractament amb la membrana per eliminar els colorants directes residuals, obtenint un efluent tractat de major qualitat i amb el qual es podrien realitzar reutilitzacions per a nous processos de tintura en percentatges més alts.
- Possibilitat d'incorporar tractaments fisicoquímics previs al tractament amb la membrana d'ultrafiltració per obtenir un efluent amb una major decoloració.
- Reutilització de l'efluent tractat en els banys de rentat, en quins percentatges i possibles inconvenients (alta salinitat efluent tractat).

9. REFERÈNCIES

- [1] M. Sala, M.C. Gutiérrez-Bouzán, (n.d.).
- [2] E. Carrera, (2009).
- [3] M. Riera-Torres, Electroquímica, UV i Altres Tècniques Aplicades a La Decoloració i Reutilització d'efluents de Tintura Amb Colorants Reactius, 2010.
- [4] M. Crespi, Rev. Química Text. (1994).
- [5] I. Gelabert Paris, Mineralització Electroquímica de Colorants Reactius i Reutilització Dels Banys Tractats, 2014.
- [6] M. Sala, Aplicació de Tècniques Electroquímiques i Fotoelectroquímiques per La Degradació de Compostos Poc Biodegradables En Efluents Industrials Tèxtils, 2012.
- [7] V. Buscio, Tratamiento y Reutilización de Efluentes de La Industria Textil Mediante Técnicas de Membranas, n.d.
- [8] M. Sala, M.C. Gutiérrez-Bouzán, Int. J. Photoenergy 2012 (2012).
- [9] C.A. Martínez-Huitle, E. Brillas, Appl. Catal. B Environ. 87 (2009) 105–145.
- [10] S. Sinha, (n.d.).
- [11] G. Ciardelli, L. Corsi, M. Marcucci, Resour. Conserv. Recycl. 31 (2000) 189–197.
- [12] M. Gracia García, Nanofiltración de Colorantes Reactivos Para La Reutilización Del Permeado, 2014.
- [13] R.P. Singh, D.R. Heldman, Introd. to Food Eng. (2014) 645–674.
- [14] B.R. Babu, a K. Parande, S. Raghu, T.P. Kumar, J. Cotton Sci. 153 (2007) 141–153.
- [15] J. Cegarra, J. Valldeperas, P. Puente, Fundamentos Científicos y Aplicados de La Tintura de Materias Textiles, 1981.
- [16] V. Buscio, M.J. Marín, M. Crespi, C. Gutiérrez-Bouzán, Chem. Eng. J. 265 (2015) 122–128.

ANNEX: TRACTAMENTS PRELIMINARS

10. ANNEX: TRACTAMENTS PRELIMINARS

Al principi del projecte es va realitzar un procés de tintura amb els productes auxiliars en el bany de tintura per veure la influència sobre aquestes.

A la Taula 47 es mostren les $DE_{CMC(2:1)}$ respecte als teixits tenyits sense productes auxiliars en el bany de tintura.

Taula 47: $\langle DE \rangle_{CMC(2:1)}$ tintures amb productes auxiliars de rentat

Color	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	ΔH_{CMC}	ΔE_{CMC}
TARONJA	-0.47	1.19	-0.89	1.56
RUBINOL	-0.34	0.40	1.68	1.76
BLAU	-0.36	-0.11	-0.61	0.71
TRI	-1.14	-1.42	0.83	2.00
TRI.N	-1.89	0.39	0.45	1.98

Es va comprovar que aquests productes auxiliars de rentat alteren el color del teixit, essent la $DE_{CMC(2:1)} > 1$ en la gran majoria de casos.

Posteriorment es va realitzar un tractament electroquímic al efluent resultant. Aquest tractament es va realitzar amb els mateixos elèctrodes utilitzats al llarg del projecte, però amb un vas de precipitats amb 1L d'efluent i no amb la cel·la indivisible de 2L de volum.

Aquest tractament electroquímic es va realitzar per comprovar l'efectivitat del tractament amb aquests colorants en concret.



Figura 54: Tractament electroquímic efluent creat al INTXTER



Figura 55: Efluent abans i després del tractament electroquímic